

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА ТРИТИЕМ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ И БЛАГОПРИЯТСТВОВАНИЯ ЯДЕРНОМУ РАЗОРУЖЕНИЮ

Мартин Б. Калиновски и Ларс Ц. Колшен

В этой статье предлагается подход к систематическому контролю за тритием на международном уровне. Первой задачей является предотвращение военного использования трития во всех странах, кроме пяти признанных ядерных держав. "Международная система контроля за тритием" (МСКТ) будет контролировать все гражданские установки, на которых производится или используется тритий. Второй задачей является ограничение доступности источников свежеприготовленного трития для программ ядерного оружия как средство предотвращения вертикального распространения в государствах, обладающих ядерным оружием, в качестве шага к полному ядерному разоружению. Эта цель может быть достигнута включением трития в будущее соглашение по прекращению производства используемых в оружии материалов и предлагаемый здесь подход называется "Интегрированным прекращением" (ИП). Одновременное введение МСКТ и ИКО имеет целью предотвратить любую дискриминацию неядерных государств.

В этой статье обсуждаются возможные политические и технические модальности для достижения обеих целей. Выделяются правила и процедуры принятия решений для обеих подходов к контролю и показываются следствия для режима ядерного нераспространения. Из детального анализа, перекрывающего все пути утечки, по которым может уйти более одного грамма трития в год, определены различные средства контроля.

В приложении к этой статье разъясняется влияние нехватки трития на ядерный арсенал США. Крайний случай полного уничтожения всего трития должен привести к большим сокращениям мощностей арсенала.

Мартин Калиновски - дипломированный физик из Междисциплинарной исследовательской группы по науке, технике и обществу (IANUS). Ларс Колшен - дипломированный политолог из той же группы.

АРГУМЕНТЫ В ПОЛЬЗУ УСИЛЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО КОНТРОЛЯ ЗА ТРИТИЕМ

Очевидно, что контроль над тритием имеет важные связи с распространением ядерного оружия, как с "горизонтальным" в сторону государств, не обладающих ядерным оружием, так и с "вертикальным" для объявленных и фактических ядерных держав. Поэтому меры, предначиненные для контроля за тритием, должны рассматриваться как составная часть режима ядерного нераспространения, состоящего из многообразия формальных и неформальных инструментов на многостороннем, двустороннем и национальном уровнях¹. Эти инструменты адресуются к различным группам участников и требуют разного набора обязательств².

Подлежащий принцип ядерного нераспространения признан практически во всем мире. Он утверждает, что ядерное оружие из-за его беспрецедентной разрушительной силы при его распространении может стать источником нестабильности в международной системе. Государства внутри этого режима достигли консенсуса об отказе как от горизонтального, так и вертикального распространения. Эти две нормы ядерного распространения содержатся, в особенности, в "краеугольном камне" режима, Договоре о нераспространении. В следующих параграфах показана роль материала двойного применения, трития, для ядерных арсеналов, и того, как с ним обращались в не реагирующей конструкции режима ядерного нераспространения.

Тритий имеет стратегическое значение для ядерных арсеналов, поскольку при той же самой мощности вес и размеры боеголовок могут быть уменьшены, или могут быть изготовлены небольшие боеголовки с мощностью более 100 килотонн без применения термоядерных компонент (см. ниже раздел о военном значении). Известно (или предполагается), что тритий применяется в программах ядерного оружия восьми объявленных и фактических ядерных держав³.

Несмотря на то, что ядерные взрывные устройства могут быть изготовлены и без трития, существуют как установившиеся, так и новые аргументы в пользу международного контроля для предотвращения его производства и использования для воен-

ных целей. Во время переговоров по Договору о нераспространении применение трития в ядерном оружии и обусловленная этим опасность не полностью понимались всеми участниками переговоров, в основном, из-за того, что информация все еще была секретной. Кроме того, гражданского источника трития не было и постоянно растущие запросы для гражданских применений полностью удовлетворялись из военного производства⁴.

В 1986 и 1987 гг. немецкая компания NTG нелегально экспортировала тритий и оборудование для работы с ним в Пакистан, кроме того, туда же поставлял тритий и Китай. Как следствие этого нелегального экспорта, Немецкий федеральный правовой суд заявил в своем приговоре, что тритий, в любом случае, должен рассматриваться как оружие войны ("Kriegswaffe"). Это решение не зависит от количества трития и от того, предусматривалось ли, что поставленный тритий действительно будет использоваться в ядерном оружии⁵.

Эта сделка продемонстрировала не только значение трития для распространяющихся государств, но и подчеркнула необходимость строгого контроля за тритием по причине нераспространения. Это серьезный вызов. Во всем мире увеличиваются технические возможности для производства трития и в обозримом будущем можно ожидать значительного увеличения гражданских потребностей в контексте исследований по управляемому термоядерному синтезу (УТС)⁶.

Растущие возможности поставки трития из гражданских источников означают, что станет больше трития для потенциального перемещения от гражданских целей на нужды ядерного оружия. В то же самое время военные промышленные реакторы в некоторых признанных ядерных державах либо стареют, либо уже выключены, и непосредственно доступных альтернатив военного производства нет. Следовательно, поставки трития в эти государства из других возможных гражданских источников становятся новым источником опасений. Это развитие еще более размывает границу между военным и гражданским производством и использованием материала двойного применения трития и представляет дополнительные аргументы в пользу всеобъемлющего и систематического контроля. Несмотря на то,

что растущее гражданское производство и применение трития делает контроль над ним сложным мероприятием, из этого не следует само по себе, что меры по контролю трития представляют непреодолимые проблемы верификации. Напротив, несмотря на то, что количество гражданского плутония во всем мире превосходит полные военные запасы примерно в четыре раза, это не помешало поставить их под гарантии МАГАТЭ. В случае трития отношение гражданских и военных запасов обратно (1 к 4, или даже 1 к 7)⁷.

По отношению к неконтролируемому распространению трития в государства без общепризнанного ядерного статута, расширение международных гарантий, осуществляемых МАГАТЭ по другим ядерным материалам, на тритий было бы предпочтительным подходом⁸. Кроме того, МАГАТЭ обладает значительным опытом по отношению к тритию⁹. Подобные контрольные процедуры затруднили бы перемещение трития в военную программу и переход к более усложненным конструкциям оружия для государства с секретной программой ядерного оружия¹⁰.

Несмотря на то, что необходимость и желательность контроля за тритием стала очевидной, только три инструмента на международном уровне в рамках режима ядерного распространения имели отношение к контролю за тритием¹¹.

Все три задачи имели целью предотвращение распространения трития в государства, не являющиеся пятью признанными ядерными державами. Все

они охватывали очень ограниченный подход и никогда ни координировались, ни дополняли друг друга. С другой стороны, не предпринималось никаких действий для предотвращения или сокращения применения трития в признанных ядерных державах в качестве подхода к остановке или обращению вертикального распространения¹².

Это может измениться в будущем. В 1988 г. было предложено, в основном из североамериканских научных кругов, использовать распад трития как действующий фактор для сокращения ядерных арсеналов в США и бывшем СССР со скоростью примерно 5,5 процента в год (скорость распада трития)¹³. Еще более радикальное предложение заключается в исключении трития из всего ядерного арсенала, включая каналы поставки, для того, чтобы существенно уменьшить общую мощность оставшихся арсеналов¹⁴.

Несмотря на то, что такие предложения выглядят прямолинейными, маловероятно, что такие технические направленные механизмы будут политически приемлемыми. Следовательно, предложения никогда не достигали повестки дня политических лидеров в Соединенных Штатах, или в каком-либо другом месте. Более реалистичный подход сконцентрирован вокруг идеи прекращения производства. Он в основном состоит из соглашения по контролируемому прекращению производства расщепляющихся материалов, которое может быть расширено включением прекращения производства трития (см. раздел "Интегрированное сокращение")¹⁵. Развитие событий в

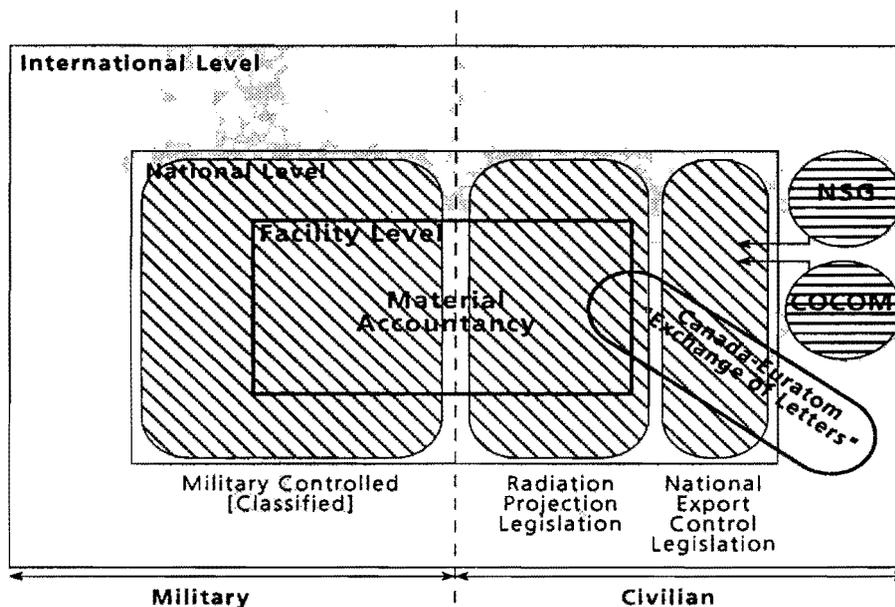


Рисунок 1

Текущая ситуация с контролем за тритием на уровне предприятия, национальном и международном уровнях. Левая половина рисунка представляет предприятия и деятельность с тритием в военных целях, правая сторона соответствует гражданской активности. Перекрывающиеся области качественно демонстрируют долю активности и предприятий, которые подпадают под действие соответствующих процедур контроля. Пропорции различных областей не отражают относительной важности или количества.

Национальный уровень, военная деятельность: производство и обращение с тритием контролируются. Информация о процедурах контроля засекречена. Национальный уровень, гражданская деятельность: а) Мероприятия по защите от радиации предусмотрены национальными законами и осуществляются на уровне предприятий. б) Национальное законодательство по контролю за экспортом.

Международный уровень, военная деятельность: отсутствует. Международный уровень, национальная деятельность: а) Группа ядерных поставщиков и КоКом имеют ограниченное число членов. Согласованные в них ограничения реализуются на национальном уровне и затем становятся частью законодательства по контролю над экспортом. б) Процедуры контроля, согласованные в канадско-европейском обмене письмами, проводятся Евратомом. Агентство контролирует тритий непосредственно на уровне предприятий в странах-участницах.

последние годы показало, что международный контроль над тритием политически желателен и возможен. Вызов заключается в том, чтобы разработать набор согласованных правил и процедур против распространения трития, который рассматривался бы всеми имеющими отношение государствами как выгодный и политически приемлемый.

ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ ЗА ТРИТИЕМ

Уровни контроля

Уровень предприятия

Контроль за запасами трития и процедуры учета хорошо налажены на уровне предприятия (см. рис. 1). Левая часть прямоугольника представляет установки по производству трития и обращение с тритием для военных целей. Этот контроль в первую очередь обусловлен требованиями защиты от радиации, а не международными гарантиями. Как правило, власти на национальном уровне взаимодействуют с ответственными руководителями на уровне предприятия для выполнения требований безопасности, поскольку обычно надо принимать во внимание специфические технические особенности соответствующих предприятий. Специалисты (ученые и техники), работающие на предприятии, часто являются советниками национальных законодательных органов. Следовательно, оба уровня сильно взаимосвязаны.

Национальный уровень

Многие страны ввели национальные правила, требующие лицензий на владение, производство, продажу и экспорт трития в количестве выше определенного предела. Многие страны, вовлеченные в производство, торговлю и использование трития, приняли правила, согласованные на международном уровне (см. ниже) и обязались выполнять эти правила в рамках их соответствующих национальных законов контроля за экспортом. Тем не менее, существуют большие различия в национальных правилах учета и контроля трития, в требованиях к экспортным лицензиям и к верификации конечного применения¹⁶.

Табл. 1 иллюстрирует в качестве примера широкий интервал национальных пределов на экспорт без лицензии (выстроенных в порядке возрастания), перекрывающий более 9 порядков величины¹⁷.

Некоторые страны даже не вводят никаких ограничений по отношению к тритию, а у других ограничения являются очень слабыми. Эти недостатки

создают лазейку для распространения, поскольку они дают преимущество государству с наиболее слабыми процедурами на месте или законодательным контролем.

Международный уровень

Ни один из инструментов для контроля за горизонтальным распространением не направлен непосредственно и исключительно на тритий. Первая попытка международной координации национальной политики экспортного контроля над тритием была предпринята в 1986 г. Координационным комитетом многостороннего экспортного контроля (КоКом)¹⁸.

Табл. 1 иллюстрирует ограниченный успех (согласно исследованию, опубликованному в 1991 г.). Семь членов КоКом приняли рекомендации по пределу экспорта трития без лицензии, и к ним присоединилась Южная Африка. Четыре страны, входящие в КоКом (Австралия, Канада, Япония и США), установили другие пределы¹⁹.

Будущее политики экспортного контроля КоКом неясно, поскольку на встрече в Гааге в марте 1994 г. первоначальный орган (КоКом) перестал существовать после 45 лет работы. Его преемник еще не определен. Однако, до завершения этого процесса члены КоКом поддерживают экспортный контроль на национальном уровне²⁰.

Во-вторых, в сентябре 1990 г. четвертая обзорная конференция стран-участниц Договора о нераспространении признала, что тритий имеет отношение к распространению ядерного оружия, несмотря на то, что он не был отождествлен в статье III.2 Договора и призвала поэтому к "начальным консультациям между государствами для обеспечения необходимой координации их контроля за экспортом и поставками".

На этом уровне не было непосредственно предпринято никаких последующих действий, но из-за явных недостатков контроля за тритием этот материал был включен в новый список двойного применения, который был принят на встрече стран-участниц Группы ядерных поставщиков в апреле 1992 г. в Варшаве²². Эти новые рекомендации относятся не только к тритию, его соединений и содержащих его смесей, но и установки для производства трития, или их компоненты. Максимальное количество трития, не подпадающее под эти рекомендации, определено в 1500 ГБк, что несколько меньше прошлого предела КоКом. Кроме того, внутри Группы ядерных поставщиков введен механизм "оповещения об отказе"²³, так же как и периодические консультации между странами о предполагаемом экспорте.

Однако, мероприятия Группы ядерных постав-

Таблица 1
Максимальное количество трития, которое может быть вывезено из различных стран без лицензии (согласно Колшену, Калиновски и Выдре²⁴)

Страны	Предельная активность (в ГБк)
Аргентина, Австрия, Япония, Малайзия, Швейцария	0
Мексика	0,0002
Финляндия	0,0037
Индонезия	0,0050
Филиппины	0,0370
США	370
Рекомендации группы ядерных поставщиков, "Список двойного использования" (1992)	1500
Бельгия, Франция, Германия, Италия, Голландия, Норвегия, Южная Африка, Великобритания, КоКом (1986)	3700
Канада	37000
Швеция (соответствует примерно одному грамму)	370000
ЧСФР (до 1993 г.), Венгрия, Румыния	без ограничений

щиков и бывшего КоКом для вступления в силу должны быть реализованы в соответствующих национальных законодательствах. Более того, соответствующая практика укрепления законодательства не может считаться достаточно эффективной, как показала нелегальная поставка трития из Германии в Пакистан. Другим недостатком мероприятий Группы ядерных поставщиков и КоКом является отсутствие верификации окончательного использования и дискриминация из-за ограниченного участия. Замена КоКом, хотя, возможно, и несколько расширит участие, будет обладать теми же недостатками.

Новые инициативы международного контроля

США и контроль за тритием

Министерство энергетики США рассматривает меры, согласованные Группой ядерных поставщиков в 1992 г., как достаточные для предотвращения горизонтального распространения трития. Но всеобъемлющая система контроля, ограничивающая его возможности производства трития для ядерного оружия, воспринимается Министерством энергетики как политически неприемлемая. С другой стороны, управление Госдепартамента США по нераспространению и экспортному контролю рассматривает соглашение Группы ядерных поставщиков как хорошее начало для перевода контроля за тритием на международный уровень, хотя оно и не указало никаких конкретных шагов, которые могли бы быть нацелены на такую интернационализацию.

Похоже, что текущее отношение администрации Клинттона к нераспространению трития продолжает отражать вышеупомянутую позицию Министерства энергетики. Хотя в настоящее время США не производят тритий для военных целей, они намерены поддерживать технические и правовые возможности для возобновления производства, если такой шаг будет в будущем рассматриваться как необходимый (см. ниже раздел по военному производству)²⁶.

Принимая во внимание эту политику США, представляется, что единственными возможными мерами могут быть односторонние, например, необязывающее и обратимое прекращение производства. Но если процесс ядерного разоружения будет продолжаться, то такая позиция может оказаться уязвимой, если на международном форуме будет предложен и обсужден единый подход.

Ближний Восток и контроль за тритием

США предприняли дипломатические усилия по связанному вопросу для убеждения израильского правительства закрыть свой комплекс по производству ядерного оружия в Димоне в качестве шага к окончательному установлению свободной от ядерного оружия региональной зоны на Ближнем Востоке, которые, однако, до сих пор не увенчались успехом²⁷. Такой шаг означал бы, в основном, замораживание как производства расщепляющихся материалов в Израиле, так и производства трития для военных целей, поскольку Димона служит единственным источником трития.

Более того, исследование ООН о возможности зоны, свободной от ядерного оружия, на Ближнем Востоке, начатое в соответствии с резолюцией ООН 43/65 от 7 декабря 1988 г., и представленное Генеральным секретарем ООН Генеральной ассамблее ООН, также призывает к постановке Димоны под гарантии или к ее закрытию²⁸.

Этот документ упоминает производство и накопление трития как пример деятельности, которая должна быть объявлена МАГАТЭ государствами региона и контролироваться неформальной системой инспекций по приглашению в качестве меры укрепления доверия²⁹. Очевидно, что такое предложение

может быть направлено только Израилю, поскольку Израиль является единственным государством региона, которое, вероятно, включено в работы по производству и накоплению трития для целей ядерного оружия. Израиль, так же как и любое другое государство с ядерным оружием, до сих пор отказывался передать какой-либо суверенитет в отношении контроля за его программой ядерного оружия иностранным или международным органам.

Канада и контроль за тритием

Канада, имеющая 21 реактор с тяжелой водой с общей мощностью 14,9 ГВт, стала крупнейшим в мире производителем трития для гражданских целей³⁰. Эти реакторы производят до 3,5 кг трития в год. Мощности Канады по выделению трития, примерно равные 2,5 кг в год, с 1987 г. предоставляются и эксплуатируются компанией "Онтарио Хайдро" на заводе выделения трития (ЗВТ) в Дарлингтоне. Поэтому деятельность Канады по отношению к нераспространению трития имеет большое значение. Как поставщик трития из гражданских источников "Онтарио Хайдро" является практическим монополистом. Согласно начальным оценкам, сделанным в 1988 г. Дональдом Андерсоном, директором отделения новых деловых инициатив "Онтарио Хайдро", продажа этих 2,5 кг трития может принести 30 млн. долл. в год³¹.

Эта оценка основана, в первую очередь, на ожиданиях успехов в исследованиях по термоядерному синтезу, поскольку 2,5 кг трития примерно в шесть раз превышают современные требования всего мирового рынка. Поэтому в настоящее время "Онтарио Хайдро" выделяет значительно меньше, чем 2,5 кг трития в год. С 1988 г. по июнь 1993 г. в Дарлингтоне было выделено всего 5,7 кг трития³².

Столь малое выделение трития в основном было связано с длительным исключением, вызванным различными эксплуатационными проблемами, проявившимися сразу же после пуска завода выделения. Информация об экспорте трития рассматривается как коммерческая тайна и поэтому не доступна общественности. "Онтарио Хайдро" и правительство Канады очень хорошо знакомы с политическими последствиями продажи трития, в особенности, если затрагиваются проблемы ядерного распространения³³.

Двумя основными федеральными инструментами контроля над экспортом являются "Закон о разрешении экспорта и импорта" и "Закон о контроле над атомной энергией". Принцип канадской "политики нераспространения трития" гарантирует, что тритий "Онтарио Хайдро" будет использоваться только для мирных целей. Для реализации этой задачи иностранной политики Канада, как член Группы ядерных поставщиков, приняла развернутое законодательство по контролю над экспортом. Совет по контролю над атомной энергией, являющийся ответственным органом, считает это законодательство гораздо более строгим, чем требуется международными соглашениями³⁴.

Например, законодательство Канады запрещает продажу трития для программ ядерного оружия пяти признанных ядерных держав. Напротив, Группа ядерных поставщиков не ввела подобных ограничений. Более того, при экспорте трития канадское законодательство требует в большинстве случаев спецификации конечного использования трития при любом экспорте трития³⁵.

Однако, в то же время пороговый уровень для получения экспортной лицензии для трития у Канады в 10 раз выше, чем рекомендации КоКом (см. табл. 1). Более важно, что правительство Канады и Евратом заключили соглашение о поставке трития и оборудования для работы с ним, включающее контроль за его использованием. В мае 1991 было закон-

чено согласование расширения соглашения между Канадой и Евратомом³⁶, дополняющего соглашение между Канадой и Евратомом, подписанное 6 октября 1959 г., и перекрывающего область исследований и разработки по термоядерному синтезу³⁷.

Канада не требует "гарантий" от Евратома и сознательно избегает использования этого термина. Напротив, соглашение определяет Евратом как наблюдающее агентство, предназначенное установить процедуры контроля поставок из Канады в страны-участницы Евратома, проверять запасы на принимающих предприятиях до тех пор, пока на них будет оставаться тритий, и обеспечить уверенность в том, что тритий не будет вывезен за пределы территории, на которой действует договор Евратома без предварительного письменного согласия правительства Канады³⁸.

Ожидается, что закупки трития Центром ядерных исследований в Карлсруэ (KfK, 200 граммов в течение следующих десяти лет), Объединенным европейским тором (JET, 90 граммов будут поставлены в 1994 - 1996 г.) и Европейской экспериментальной лабораторией по обращению с тритием (ETHEL, 100 граммов) будут прецедентами для этих новых процедур контроля.

Сводка текущих мероприятий по контролю за тритием

Хотя контроль за тритием уже стал более жестким, до сих пор не создана согласованная международная стратегия³⁹. Усилия группы ядерных поставщиков и КоКом основаны на политике запрета технологии и по своей природе являются дискриминационными. Даже в комбинации с национальным контролем над экспортом и с ограниченными контрольными функциями, проводимыми Евратомом, этот контроль не представит эффективных и систематических усилий, способных эффективно закрыть утечку трития в тайные программы оружия или регулировать производство трития в признанных ядерных державах.

ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТРИТИЯ

Использование трития в гражданских целях

Тритий - это радиоактивный сверхтяжелый изотоп водорода, открытый в 1934 г. Разработка коммерческого использования трития усилилась в начале 60-х гг., в основном из-за того, что появился доступ к избыточным количествам трития из Комиссии по атомной энергии США. В 1959 г. стали доступными 100 граммов трития, впоследствии проданных Оук-Риджской национальной лабораторией (ОРНЛ) для применения в мирных целях. Для сравнения, в 1958 г. было продано 4,1 грамма трития, а с 1948 по 1957 г. - всего 1,3 грамма.

В конце 60-х гг. мировое потребление трития для гражданских целей составляло около 20 граммов в год, а в середине 70-х гг. оно возросло до 100 граммов в год (в основном, для светящихся красок и автономных источников света - "бета-фонариков")⁴¹. В 1979 г. коммерческое потребление трития достигло максимума в примерно 800 граммов в год, но в 1980 г. оно снова сильно упало до около 100 граммов в год из-за усиления ограничений для безопасности, связанных с безопасностью о проблемах радиации. С тех пор потребности в тритии снова начали возрастать до примерно 400 граммов в год в начале 90-х гг. Потребности для исследований по термоядерному синтезу составляют около 10 процентов от этой величины. Средний объем международной торговли в 80-х гг. составлял несколько больше 220 граммов в год⁴².

Всего 4 из 21 большого коммерческого предприятия, производящего тритий и торгующего им,

находятся в неядерных государствах (Канаде, Германии и Швейцарии). Почти все гражданские нужды удовлетворяются поставками из отдела продаж ОРНЛ. Цена трития в 80-х гг. сильно колебалась от 13000 до 26000 долларов за грамм. Возможно, что Китай, Великобритания, Франция⁴³ и Россия⁴⁴ могут экспортировать по несколько десятков граммов трития в год, в основном, из военного производства. В конце 80-х гг. "Онтарио Хайдро" стало первым конкурентом поставки трития из гражданских источников, нарушив американскую монополию. Главными импортерами являются Великобритания, Япония и Швейцария. Объявленное использование в основном связано со светящимися красками и автономными источниками света.

В качестве примеров приводятся следующие промышленные применения (в порядке уменьшения потребности):

- посадочные огни для удаленных аэродромов (от 50 до 100 мг на каждый);
- радиолюминисцентные краски (по 100 мг на производственный заказ);
- знаки "ВЫХОД" (до 10 мг на каждый);
- часы, осветители дисплеев приборов, знаки и индикаторы, прочие разные специальные приложения (микrogramмные количества).

Имеются также некоторые научные приложения:

- исследования по термоядерной энергетике (в настоящее время общая мировая потребность составляет несколько сотен граммов)⁴⁵;

- ядерная физика, в особенности, источники нейтронов с энергией 14 МэВ (до 500 мг в каждом);
- биологические, медицинские, химические и геологические исследования, в основном, с мечеными атомами (микrogramмные количества).

Использование в военных целях

Есть многочисленные военные приложения трития, не имеющие ничего общего с ядерным оружием. К ним относятся прежде всего приложения двойного применения, в основном использующие тритий как автономный источник света для обычных систем оружия или огней военных взлетно-посадочных полос. Однако, здесь основной интерес связан с использованием трития в ядерном оружии. Тритий сам по себе не только не достаточен для создания ядерного оружия, но и не является необходимым компонентом для конструкции простой ядерной боеголовки. Тем не менее, полагают, что тритий входит в состав большинства ядерных боеприпасов, входящих в арсеналы всех государств, обладающих ядерным оружием. Его главным назначением является увеличение ("ускорение") мощности взрыва при заданном количестве расщепляющегося материала. Использование трития в ядерном оружии представляет, следовательно, процесс вертикального расширения от ядерных устройств деления первого поколения к более усложненным ускоренным или термоядерным устройствам.

Следующий перечень представляет различное применение и оцениваемые количества трития в ядерных боеголовках⁴⁶:

*Ускоренные устройства деления и ускоренные первичные компоненты термоядерного оружия (2 - 3 г)*⁴⁷

В центре ядерного взрыва несколько граммов трития вступают в реакцию с дейтерием. Высвобождающиеся нейтроны вызывают последующие реакции деления, увеличивая вследствие этого эффективность делящегося компонента и окружающего "поршня" из инертного материала (если таковой имеется). В результате мощность взрыва может быть увеличена от 2 до 10 раз⁴⁸.

Вследствие этого ускоренные устройства деле-

ния могут обладать мощностью до 400 килотонн⁴⁹, но они все равно будут обладать сравнительно малым отношением мощности к весу. Термоядерные боеголовки с ускоренными первичными компонентами могут обладать высоким отношением мощности к весу, что позволяет создать мощные (400 - 500 кт) и достаточно легкие (100 - 400 кг) боеголовки для размещения в ракетах дальнего радиуса действия с разделяющимися боеголовками, так же как в торпедах и артиллерийских снарядах. Меньшее количество расщепляющегося материала проще сжать, что приводит к более повторяемой мощности взрыва. Считают, что ускорение применяется в большинстве небольших устройств деления и во всех "запалах" термоядерного оружия в современном ядерном арсенале США (см. приложения).

Выбираемая мощность (2 - 3 г)

Это особое свойство, используемое в некоторых ускоренных боеголовках. Их мощность может быть выбрана посредством выбора устанавливаемых капсул со всем тритием (полное содержание в 2 - 3 г), или его частью, или отказом от установки капсулы.

Нейтронная бомба (10 - 30 г)

Тритий используется в оружии повышенной радиации (нейтронной бомбе) аналогично ускоренному устройству деления, но принимаются меры к тому, чтобы большая часть нейтронов с энергией 14 МэВ от реакций синтеза вышла, не вызвав новой реакции деления. Поэтому такое оружие имеет сравнительно малую мощность (около 1 килотонны ТНТ) и большой поток нейтронов высоких энергий.

Нейтронный генератор (0,1 мг)

Цепная реакция ядерного деления начинается от электростатического нейтронного генератора, в котором ионы дейтерия бомбардируют мишень из тритида металла (например, циркония).

Большая часть информации о военном использовании трития засекречена. Поэтому все приведенные количества являются квалифицированными догадками, которые ни подтверждались, ни опровергались официальными лицами. Стратегическое значение трития в ядерном арсенале заключается в том, что он гарантирует высокое отношение высокой полную мощность или высокое отношение мощности к весу. Без трития полная мощность многих или большинства термоядерных боеголовок современной конструкции уменьшится на два порядка величины (см. приложения).

ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТРИТИЯ И ЗАПАСЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Признанные страны-обладатели ядерного оружия

Как правило, информация по военным предприятиям для производства трития и их мощности держится в секрете. Некоторая информация, доступная из открытой литературы, подытожена в табл. 2⁵¹.

В апреле 1988 г. К-реактор, бывший последним американским источником военного трития и полностью переведенный на производство трития, был выключен и с тех пор в ядерные арсеналы США свежее трития не поступало. В августе 1988 г. Соединенные Штаты решили, что перед повторным пуском всех оставшихся промышленных реакторов они должны пройти серьезную доработку по соображениям безопасности. Пытаясь произвести повторный пуск К-реактора, США в 1989 - 1992 финансовых годах безуспешно потратили 2345 млн. долларов. В сентябре 1992 г. тогдашний секретарь Министер-

ства энергетики Джеймс Д. Ватсон сказал, что для поддержания сокращенного ядерного арсенала США до 2012 года Соединенным Штатам хватит трития, высвобождаемого из демонтированных ядерных боеголовок. Согласно объявлению нынешнего секретаря Министерства энергетики Хэйлз О'Лири в марте 1993 г. К-реактор не будет запускаться повторно, но останется в режиме "холодной консервации". Это решение обратимо⁵².

Программа конструирования нового промышленного реактора (НПР) официально остановлена администрацией Клинтона. Тем не менее, в июне 1993 г. О'Лири объявила, что новая установка для производства трития должна начать работать в 2008 г. Для того, чтобы выполнить эти сроки, строительство НПР должно начаться к концу этого столетия. С другой стороны, строительство линейного ускорителя протонов, который тоже может использоваться для производства трития, может начаться в 2002 г. К этому времени некоторые ученые надеются разработать технологию производства трития на ускорителе. На деле, противоположно НПР, исследования по производству трития на ускорителе продолжаются, хотя и умеренными темпами⁵³.

В конце 1993 года военные запасы трития в США оценивались в 70 ± 25 килограммов⁵⁴. Текущий оперативный арсенал США состоит из 9250 стратегических и тактических боеголовок и бомб и, согласно договору СНВ-2, к 2003 г. должен сократиться до примерно 4450⁵⁵.

Запасы трития в арсенале после выполнения СНВ-2 будут составлять от 9 до 13 килограммов. К 2005 г. из-за радиоактивного распада оставшиеся запасы трития будут составлять примерно от 25 до 50 килограммов. В зависимости от того, какая комбинация цифр правильно описывает действительность, год, в котором запасы трития в США станут меньше потребности, может лежать в пределах от 2016 до 2035⁵⁶. Если арсенал в 1000 боеголовок окажется достаточным, то существующих запасов трития хватит до 2043 или даже до 2062 г.

Судьба реакторов для производства трития в других странах может оказаться такой же, как и для американских. Большая часть этих реакторов работает от 25 до 35 лет (см. табл. 2). Россия уже остановила 11 из своих 14 реакторов для производства плутония и в соглашении Гора-Черномырдина, заключенном в июне 1994 г., обещала прекратить работы на трех оставшихся реакторах до 2000 г. (см. ниже). В одном источнике сообщается, что два дополнительных легководных реактора предназначены для производства трития и других изотопов⁵⁷.

В 1989 г. советские официальные лица говорили, что их стране необходима постоянная работа двух-трех реакторов для производства трития⁵⁸. Несмотря на то, что не было сделано официальных деклараций по поводу производства трития, эта оценка определенно изменилась из-за продолжающегося процесса ядерного разоружения в России, в особенности из-за односторонних заявлений Ельцина и подписания договора СНВ-2 в 1993 г. Можно предположить, что современное годовое производство трития в России лежит в пределах от нуля до нескольких килограммов. Одна квалифицированная оценка дает общий запас трития с поправкой на радиоактивный распад в 66 килограммов на конец 1991 г.⁵⁹ Общие мировые запасы трития для военных целей с поправкой на радиоактивный распад могут быть оценены как 140 ± 30 килограммов на конец 1993 г. (см. таблицу).

После распада СССР Украина унаследовала около 1800 стратегических боеголовок. Предполагая среднее содержание трития в 2,5 грамма на боеголовку, общие запасы трития в этом оружии могут быть оценены примерно в 4,1 килограмма. Используя это оружие как козырь на переговорах, Украина начала передавать их в Россию для демонтажа.

Таблица 2
Предприятия для производства военного плутония и трития

Страна	Предприятие	Период производства трития	Мощность (г трития в год) ^а
Китай ^б	Второе Министерство машиностроения Новая производственная линия (более мощная)	с 1968 с 1979	? ?
Франция	Маркуль G1(40 МВт), G2(250 МВт), G3(250 МВт) ^в Селестэн I/II 250 МВт с тяжелой водой ^г	с 1956-60 по 1992 с 1967-68	только Pu 2 по 600 ^д
Индия ^е	Производство на ускорителе Кирус 40 МВт с тяжелой водой	рассматривается с 1960	? 120
Израиль	Дхрува 100 МВт с тяжелой водой Ядерный исследовательский центр Негев, Димона IRR-2 150 МВт ^ж	с 1988	300
Россия ^з	Озерск (бывший Челябинск-65) 5 реакторов с графитовым замедлителем и водяным охлаждением (полная мощность 6565 МВт) 50 МВт с тяжелой водой 2 реактора с легкой водой по 1000 МВт каждый Северск (бывший Томск-7) 5 реакторов с графитовым замедлителем и водяным охлаждением около 2000 МВт каждый Железногорск (бывший Красноярск-26) 3 подземных реактора с графитовым замедлителем по 2000 МВт каждый	с 1963	500
Великобритания ^и	Уиндскэйл, 2 реактора по 115 МВт Колдер Холл, 4 реактора Магнокс по 220 МВт Чэпелкросс, 4 реактора Магнокс по 220 МВт	первый в 1948, все выключены в 1990 с 1950 до конца 80-х еще работают с начала 60-х, 3 выключено к 1992, 2 будут выкл. к 2000 с 1957 - 64, 2 выключено к 1992, 1 будет выкл. к 2000 выключен с 1956 - 58 с 1958 - 60	немного ^к 55 ^л около 4000 ^м
США ^п	Хэнфорд (Вашингтон), 9 реакторов, включая N-реактор, 4800 МВт, графитовый замедлитель и водное охлаждение Саванна-Ривер (Южная Каролина), 5 реакторов, включая K-реактор 2400 МВт с тяжелой водой Новое предприятие с реактором или ускорителем	1952 - 88 в 1967 г.	только Pu ^н только Pu только Pu 4 x 200 ^п осн. Pu 6250 ^о
Всего	Работает более 23 установок, 28 выключено и 2 рассматриваются	выключены 1953 - 88 рассматривается	осн. Pu ^р 6300-11000 ? около 7000

^а Цифры представляют собой очень грубые оценки максимальной производственной мощности без одновременного производства плутония при работе на полной мощности и полностью посвященной производству трития, в некоторых случаях при одновременном производстве тепло- и электроэнергии.

^б См. JPRS (1988)⁶⁰.

^в См. Cochran et al. (1987)⁶¹. Производство трития из лития-6 началось до 1962 г. После завершения двух реакторов Селестэн реакторы G1, G2, G3 использовались только для производства плутония. См. СЕА, р. 129⁶².

^г См. Hugony et al. (1973)⁶³ и Barrilot (1991)⁶⁴.

^д Вместо этого может быть произведено 45 кг плутония, см. Gsponer (1984)⁶⁵. Реальное производство трития может быть намного меньше, возможно, на порядок величины. На самом деле в 1980 г. два этих реактора были модифицированы для производства плутония и меньшего количества трития, Barrilot⁶⁶.

^е См. Albright/Zamora (1989)⁶⁷. Оба реактора не находятся под гарантиями и неясно, используются ли они как промышленные реакторы.

^ж Переделаны с 24 до 150 МВт в 1969 г. См. Arms Control Reporter 13.5 (1993) 453.E.1

^з См. Cochran/Norris (1993), pp. 45,47⁶⁸ и Arms Control Reporter 12.4 (1993) 611.E-0.4

^и На этих установках большого количества трития не производилось. Иногда тритий производился в стержнях управления. См. NRDC (1989)⁶⁹.

^к Величина взята из исследования ЦРУ в середине 50-х гг. Cochran et al. (1989)⁷⁰. Потом реактор переделали в легководный реактор.

^л Эти два реактора используются для производства трития, Pu-238 и других изотопов. Cochran/Norris (1993), р. 51⁷¹.

^м Производство трития неизвестно.

^н Здесь тритий никогда не производился. Оставшийся реактор одновременно производит электроэнергию.

^о См. Cochran et al. (1987)⁷².

^п Реакторы двойного назначения Магнокс одновременно производят электроэнергию, плутоний или тритий. Реальное производство трития, вероятно, ниже по крайней мере на порядок величины.

^р См. Cochran et al. (1987)⁷³.

^с С одновременным производством мощности и 815 кг плутония. См. Ragneb (1981)⁷⁴.

^т Тритий в основном производился в С-, а затем в К-реакторе. Повторный пуск последнего планировался несколько раз, но никогда не был проведен. В 1993 г. было решено держать реактор постоянно выключенным.

Фактически первые три поставки в Россию по 60 боеголовок каждая уже были проведены. Поскольку все промышленные установки по производству плутония и трития находятся в России, на Украине нет своих предприятий по производству трития. Однако, если политическая ситуация на Украине изменится и ядерное оружие останется на Украине, поставки трития могут стать проблемой. Более того, поскольку касающиеся трития вопросы распространения не рассматривались ни в Лиссабонском протоколе, ни в трехстороннем соглашении между Россией, Соединенными Штатами и Украиной, проблемы трития из поставляемых в Россию боеголовок остаются неясными. Украинские власти или криминальные группы, получившие доступ к боеголовкам, могут извлечь из них тритий (технически простая процедура) и продать его государствам с ядерным оружием или ядерными амбициями. С другой стороны, Россия может использовать тритий из поставленных Украиной боеголовок для своего ядерного арсенала.

Государства с необъявленными программами ядерного оружия

Имеются указания на то, что многие страны, подозреваемые в создании возможностей ядерного оружия, участвовали также в накоплении трития и разработке тритиевой технологии для усиления этих возможностей. В применении трития (в настоящем или в прошлом) в союзах необъявленных программах оружия подозреваются следующие страны:

Пакистан

Между 1985 и 1987 гг. западногерманская компания "Neue Technologien GmbH" нелегально экспортировала 0,8 грамма трития и некоторую тритиевую технологию в Пакистан, который всего запрашивал 100 граммов. Сообщали также, что в 1986 г. Пакистан получил тритий от Китая⁷⁵.

Индия

Индия могла использовать свои исследовательские реакторы Дхрува и Кирус для производства трития из лития-6 (см. табл. 2), но она определенно предпочитает извлекать тритий из тяжелой воды, обогащаемой им во время нормальной работы реакторов типа КАНДУ⁷⁶.

Израиль

Вместо производства плутония Израиль мог бы производить до 500 граммов плутония в год на своем исследовательском реакторе в Димоне (см. табл. 2). Производство трития для ядерного оружия не представляет проблемы для Израиля, поскольку сообщали, что он секретно экспортировал в Южную Африку во время 1977 и 1978 гг. около 30 граммов трития в обмен на 500 или 600 тонн "желтого кекса"⁷⁷.

Ирак и Южная Африка

Два других государства были замешаны в работах с тритием для целей ядерного оружия, но в настоящее время они не вызывают беспокойства в этом отношении.

Ирак проводил исследования по обогащению лития-6 и создал установку, способную обрабатывать от 0,5 до 1 килограмма природного лития в год⁷⁸. Однако, программа ядерного оружия Ирака была остановлена во время второй войны в Персидском заливе, а затем и практически полностью уничтожена последующими инспекциями ООН и в на-

стоящее время все еще находится под международным контролем.

Оружейная корпорация Южно-Африканской республики "Армкор" в 80-х гг. изготовила шесть примитивных ядерных устройств "ствольного" типа без трития. Имеются несколько серьезных указаний на то, что Южная Африка собиралась изготовить более сложное ядерное оружие. В Южной Африке были созданы опытные установки для производства трития и лития⁷⁹. Там проводились теоретические исследования по увеличению мощности оружия "ствольного" типа с менее чем 18 до 100 килотонн и, по-видимому, ЮАР получила около 30 граммов трития из Израиля (см. выше) и дополнительное количество трития из неуказанных "заморских" источников⁸⁰.

По-видимому, тритий израильского происхождения никогда не использовался в "Армкор" для программы ядерного оружия и около трети импортированного трития уже исчезло в результате естественного распада, а Комиссия по атомной энергии Южной Африки в середине 80-х гг. решила использовать остаток для мирных целей, например, для радиолюминисцентных светящихся знаков⁸¹. Ожидая потерю политической власти, белое правительство Южной Африки официально прекратило свою программу ядерного оружия в конце 1989 года. Тем не менее, принимая за правильные дату и количество поставленного трития, и считая, что не было ни экспорта, ни использования трития, можно считать, что в стране сегодня осталось около 10 граммов трития. Следовательно, новому правительству Южной Африки следует учитывать гражданское использование оставшихся запасов.

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Под переключением понимают тайное производство трития или его нелегальное извлечение из существующих запасов. В природе тритий образуется лишь в концентрациях, слишком низких для практически достижимого извлечения. Одной из причин для этого является сравнительно быстрый радиоактивный распад трития с периодом полураспада в 12,26 лет, так что заданное количество трития уменьшается со скоростью 5,5 процента в год.

Поскольку эксплуатируемых природных источников не существуют, тритий получают искусственно в ядерных реакциях. Значительные количества могут быть получены только с сильными потоками нейтронов, которые можно найти только в ядерных реакторах или, в принципе, на ускорителях. Производство трития может обладать разной степенью специализации. Он образуется непреднамеренно как продукт, сопровождающий работу практически всех ядерных реакторов. Он может производиться намеренно без влияния на нормальную работу используемой установки, и он может производиться в реакторе и на ускорителе, спроектированном и эксплуатируемом как специализированная установка для производства трития. В этом анализе будут рассматриваться только те пути переключения, которые могут привести к получению более чем одного грамма трития в год.

В табл. Б.1 приводится классификация девяти типов установок, которые могут подпадать под контроль трития. На рис. 2 показаны возможные пути движения трития от производства до использования, разбитые на основные этапы для установок указанных типов.

В зависимости от различных сырьевых материалов можно выделить четыре главных метода производства трития. Они включают преднамеренное производство трития из лития-6 или гелия-3, и побочное производство трития в делении на три осколка или при захвате нейтронов в тяжелой воде. Ниже приводятся возможные реализации этих ме-

тодов производства⁸².

Мощности производства в различных сценариях приведены в табл. 3.

Метод лития-6 в ядерной реакции $Li-6 + n \rightarrow T + He-4$

До облучения мишеней с литием-6 в ядерном реакторе производится добыча и обогащение литиевой руды, литий преобразуется в LiCl и преобразуется в металл электролитическим способом. Чаще всего обогащения лития-6 производится в процессе, в котором используется большое количество ртути⁸³.

Мишени изготавливаются из алюминиевого сплава или керамического материала. После облучения тритий извлекается в вакуумной печи, очищается химически и отделяется от других изотопов водорода. Он требует специального обращения и особых хранилищ из-за своей радиоактивности и летучести. Можно выделить различные варианты этого метода, отличающиеся особыми режимами эксплуатации реактора и размещением мишеней в его активной зоне.

Вариант необъявленного производства трития в литиевых мишенях

- Построить заново или преобразовать существующий реактор в реактор для производства трития и использовать сборки топлива с литием, специально разработанные для производства

трития. Сравнительные мощности производства можно определить из оценок производства военных промышленных реакторов, приведенных в табл. 2. Они лежат в пределах от 1000 до 5000 г на ГВт день.

- Производить тритий в энергетическом реакторе, не влияя на его нормальную работу. Оценки производства трития в реакторе с обычной водой примерно равны 100 г на ГВт день, а в реакторе типа КАНДУ - около 200 г на ГВт на день, если будет использоваться топливо со степенью обогащения, большей, чем обычно⁸⁴.
- Заменить стержни с выгорающим бором на стержни с литием. В США разрабатываются подобные стержни, которые вместо бора содержат $LiAlO_2/Zr$. Скорость производства в реакторе с электрической мощностью в 1 ГВт оценивалась в 80 грамм в год⁹³, а по другому источнику - 6 грамм в год⁹⁴.
- Заменить отдельные топливные или управляющие стержни стержнями с литием-6 или установить производящие стержни в свободные положения решетки в легководном реакторе. Если заменить только один стержень в топливной сборке энергетического водного реактора на стержень, заполненный литием с максимальной возможной с технической точки зрения концентрацией (около $0,1 \text{ г/см}^3$ в объеме около 200 см^3), то в нем можно будет произвести не более 2 грамм трития в год. Столь высокий выход трития не может быть достигнут, если в активную зону реактора будут одновременно введены

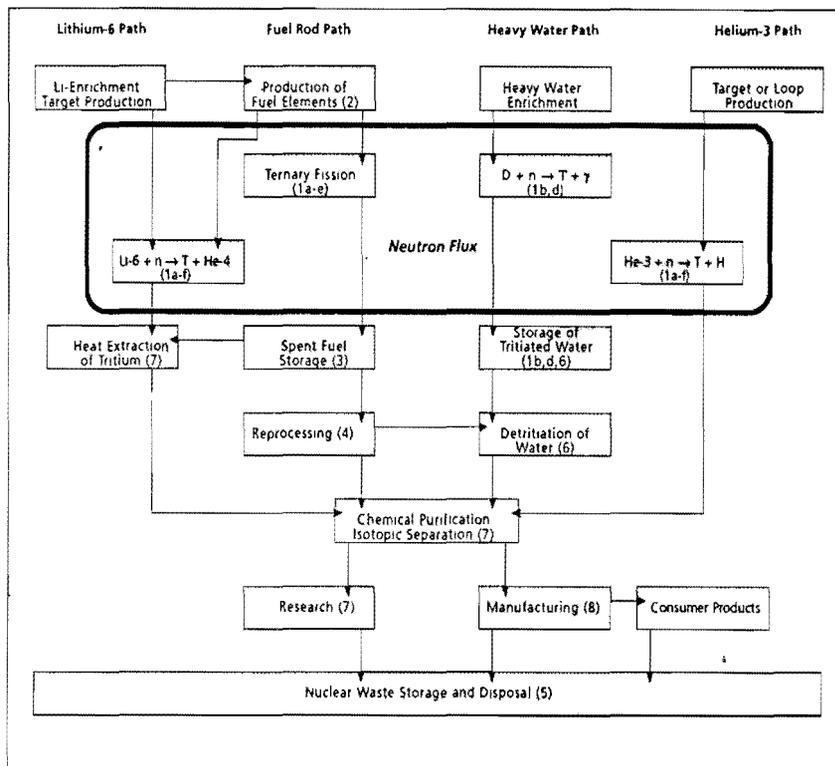


Рисунок 2

Поток трития от производства до утилизации для различных методов производства. Эта линейная модель является идеализацией, показывающей основные пути. Возможны и другие связи, в особенности от отдельных этапов прямо до хранилищ отходов. Цифры соответствуют типам установок, подпадающих под гарантии трития в соответствии с табл. Б.1. Верхняя часть показывает четыре главных метода производства трития. В нижней части под источником нейтронов каждый процесс показан внутри прямоугольника и каждый переход между установками представляет возможности для нелегального извлечения, для потерь в окружающую среду от радиоактивного распада, вызывает задержки и производит содержащие тритий отходы.

Таблица 3
Относительные скорости производства трития в ядерных реакторах

Метод	Вариант	Мощность (г/ГВт год)
Литий-6	Специализированный промышленный реактор	1000 - 5000
	ЖМР с литиевым охлаждением (вместо натрия)	1000 ^б
	КАНДУ или ЛВР с литиевыми мишенями без влияния на нормальную работу реактора	30 - 70 ^в
	ЛВР с 600 - 900 мишенями в свободных каналах стержней управления	30 ^г
	ЛВР с выгорающими отравляющими добавками с Li-6 вместо В и Gd	2 - 27 ^д
	Любой реактор с непреднамеренным производством трития с примесью 0,05 ppm Li	0,003 - 0,3
Топливные стержни	Непреднамеренное производство в делении с тремя осколками	0,5 - 1,0
Тяжелая вода	Непреднамеренное производство в захвате нейтронов тяжелой водой замедлителя и охладителя	50 - 80
Гелий-3	Экспериментальный канал в реакторе NPX в CNRL	4,3 ^е
	Эксперименты с быстрым изменением мощности на исследовательском реакторе	< 5 ^ж
	Непреднамеренное производство в гелиевом охладителе ВТРГО	0,06 - 0,23 ^з

^а ЖМР - реактор с жидкометаллическим охлаждением, КАНДУ - канадский реактор с тяжелой водой и природным ураном, ЛВР - водо-водяной реактор, ВТРГО - высокотемпературный реактор с газовым охлаждением
^б См. Ragheb (1987)⁸⁵
^в См. CFFTP (1988)⁸⁶
^г Определено по данным из Lu/Zhu/Todosov (1988)⁸⁷
^д См. Benedict/Pigford/Levi (1981)⁸⁸ для нижнего предела и Ragheb (1981)⁸⁹ для верхнего предела
^е Определено по данным из Osborne (1979)⁹⁰
^ж См. Sokolski (1982)⁹¹
^з См. Philips/Easterly (1980)⁹²

несколько сотен стержней. В энергетическом водном реакторе с электрической мощностью 1 ГВт в 600 - 900 стержнях с мишенями, введенных в свободные каналы для управляющих стержней, может образовываться до 100 граммов трития в год⁹⁵. Введение литиевых мишеней в неиспользованные каналы для топлива, в особенности на периферии реактора, или в свободных местах вне активной зоны (если такие есть) приведет к меньшей мощности производства.

- Использование литиевого охладителя вместо натрия в реакторах с жидкометаллическим охладителем приведет к производству 1000 граммов трития в год на реакторе с мощностью 1 ГВт.

Вариант производства количества больше объявленного

- Этот путь переключения станет возможным, если будет разрешено ограниченное производство для военных целей или для накопления начального запаса для первого термоядерного энергетического реактора. Можно оценить, что текущее производство трития для исследований по термоядерному синтезу не превышает 0,5 грамма в год.

Метод топливных стержней, основанный на делении с тремя осколками

Примерно в 10 000 реакций деления ядер образуется одно ядро трития как третий осколок деления. В зависимости от типа реактора и топлива

таким образом может производиться от 1,6 до 3,1 грамма трития на 1 ГВт электрической мощности в год⁹⁷. Большая его часть остается в топливе. Оценки выхода трития из топлива с циркалоевой оболочкой лежат в пределах от 0,013 до 1 процента⁹⁸, если топливо не перерабатывается или не подвергается специальной тепловой обработке. Внутри топливного стержня тритий находится в оболочке (от 5 до 15 процентов), в газовом пузыре (от 0 до 10 процентов), а остальное находится в топливной матрице⁹⁹.

Доля трития, выходящая в газовой или водной фазе, зависит от конструкции и эксплуатации завода по переработке, а также от типа топлива. Без поправки на распад содержание трития в каждой тонне отработанного топлива из легководного реактора примерно равно от 0,062 до 0,097 грамма при степени выгорания от 30 до 40 ГВт·день/тонну¹⁰⁰.

Предполагая, что во время "охлаждения" топлива в течение 150 суток будет происходить распад, и что часть трития останется в отходах, можно оценить, что доля трития для выброса или для извлечения составит от 0,05 до 0,08 граммов на тонну. Из этого следует, что на заводе по переработке топлива от легководных реакторов с годовой мощностью в 12,5 тонн (примерно на два порядка величины меньше типичного размера большого коммерческого завода по переработке) можно извлечь не больше одного грамма трития в год.

Можно представить себе несколько возможностей переключения:

- На предприятии по переработке газосоединения с тритием могут собираться для извлече-

Таблица 4
Сводка производства трития и его запасов на 1993 год

Тип предприятия (по табл. Б.1)	Ежегодное производство или пропускная способность, кг/год			Общее производство или хранящиеся запасы, кг		
	I,D ^a	C,R,T ^a	PP ^a	I,D ^a	C,R,S ^a	SE ^a
1a,b/Тройное деление 1a,b/Литий	i 0,45 d 0	r < 0,01 -	- 10-70	i 3,2-8,8 -	r 0,03-0,09 -	2-7 -
1b,d/Тяжелая вода	i 3,0-4,4	r < 0,2	-	i ≈ 20	r ≈ 2	≈ 13
1c,d/Тройное деление 1c,d/Литий	i(2-4)10 ⁻³ d < 0,05	r < 10 ⁻⁴ -	- 10-20	- -	- -	- -
1e США/Литий	d 0 ^b	-	-	d 45-95 ^b	c 43-93 ^г	-0,7
1e США/Тяжелая вода	d 0	-	-	i 1-2	c 0,05-0,1	-1-2
1e Россия/Литий	d 0-3,4	c 0-3,4	4 ^д	d 66 ^е	c 65 ^ж	-0,5
1e Прочие ^з /Литий	d < 0,25	c < 0,25	7 ^и	d 2,5-5	c 2,5-5	-0,05
1f Термоядерный реактор в 1 ГВт(эл.)/Литий	-	-	180	-	-	-
3/Хранение	-	t 0-1	-	-	s 1-3	-
4/Выбросы и отходы ^к	-	t 0,2-0,33	-	-	r 1-1,4	-
5/Хранение	-	t 0,1-0,3	-	-	s 0,5-2	-
6/Извлечение	-	t 1,5-2,5	-	-	s 6,0-6,4	-
7/Хранение	-	t 0,03-0,05	-	-	s 0,4-0,6	-
8/Изготовление	-	t 0,3-0,4	-	-	s 0,05-0,1	-
Ядерные взрывы	-	-	-	i 300-3000	r 30-300	-
Образование в природе	i 0,1-0,4	-	-	i 1,5-6,7	-	-
Всего	2 - 8,6			450 - 2000		

^a I - непреднамеренное, D - преднамеренное, C - собрано, R - выброшено, T - пропускная способность, PP - потенциальное производство, S - хранящиеся запасы, SE - возможность извлечения
^b Последний реактор для производства трития в Саванна Ривер был выключен в апреле 1988 года.
^в Объем производства и оценки запасов в Cochran et al. (1987)¹⁰² были экстраполированы к концу 1993 года.
^г Общее количество в ядерных арсеналах и производственных установках. По крайней мере 1 процент выбрасывается в окружающую среду и около 1 процента, по-видимому, находится в радиоактивных отходах.
^д См. табл. 2.
^е Объем производства и оценки запасов в Cochran/Norris (1993)¹⁰³ были экстраполированы до конца 1993 года в предположении годового производства в 3,4 кг. Нет особого смысла оценивать ошибки этих цифр, поскольку они являются квалифицированными догадками.
^ж От 3 до 5 килограммов из этих запасов находилось в ядерных боеголовках, которые в конце 1993 года оставались на территории Украины, а от 3 до 5 килограммов - на территории Казахстана. Некоторое количество трития находится также в Белоруссии.
^з Это включает другие ядерные державы (Китай, Францию и Великобританию), также как и фактические ядерные державы (Индию, Израиль и Пакистан).
^и См. табл. 2.
^к См. хранящиеся запасы на предприятиях типа 5 (хранение).

ния трития, что противоречит существующей практике.

- На предприятии по переработке водные растворы с тритием могут собираться для извлечения трития, что также противоречит существующей практике.
- Непереработанное топливо может быть нагрето для извлечения трития. Извлечение трития из отработанного топлива без переработки технически возможно¹⁰¹. Оболочка топлива может быть вскрыта, а топливо может быть нагрето в

печи, либо в вакууме, либо с продувкой инертным газом. Типичная топливная сборка легководного реактора может состоять из 236 топливных стержней, в каждом из которых содержится 2,3 килограмма урана. Из приведенных выше данных следует, что значимое количество трития может быть собрано примерно из 25 топливных сборок легководных реакторов.

Метод тяжелой воды на основе ядерной реакции

$$D + n \rightarrow T + \gamma$$

Тритий производится непреднамеренно в замедлителе и охладителе во время нормальной работы реактора с тяжелой водой при захвате нейтронов дейтерием. В зависимости от типа реактора скорость производства в методе тяжелой воды составляет от 50 до 80 граммов на ГВт в год. В замедлителе типичного реактора КАНДУ находится 290 тонн тяжелой воды. В равновесии в ней содержится 2,4 ТБк/кг (полное содержание $7 \cdot 10^5$ ТБк/кг, или 2 килограмма). Можно представить себе различные сценарии нелегального извлечения этого трития, например:

- Постоянная замена тритированной тяжелой воды в тяжеловодном реакторе чистой тяжелой водой для того, чтобы обмануть любой прибор контроля за тритием.
- Необъявленное извлечение трития из тритированной тяжелой воды из неконтролируемых источников.
- Переключение из хранилища для извлеченного трития на предприятии по выделению трития из тяжелой воды, сопровождающееся подтасовкой измерений запасов таким образом, чтобы представить большие физические запасы как меньшие зарегистрированные.

Метод гелия-3 на основе ядерной реакции

$$He-3 + n \rightarrow T + H$$

Преимуществом гелия-3 как сырьевого материала для производства трития является его очень большое сечение захвата нейтронов (5327 барна для тепловых нейтронов). Поскольку гелий-3 газ, плотность мишеней не может быть большой, но может быть создана система непрерывного извлечения из гелия-3, циркулирующего в замкнутой системе.

- Гелий-3 может циркулировать в дополнительной системе трубопроводов и насосов внутри активной зоны реактора или в систему разделения газов и обратно. Газ либо будет выводиться через определенные промежутки времени для извлечения трития, либо будет обрабатываться непрерывно. Исследование, проведенное для реактора КАНДУ, показало, что при прямой активации гелия-3 в замкнутой петле время, необходимое для преобразования половины запаса гелия-3, примерно равно 11 суткам. Следовательно, преобразование будет практически завершено через несколько недель без существенных потерь¹⁰⁴. Другое исследование проводилось для экспериментального контура в реакторе NRX в ядерной лаборатории Чок-Ривер (CRNL) в Канаде¹⁰⁵. Нейтронный поток, достигающий топливных элементов, контролируется введением гелия-3 в змеевик из нержавеющей стали в кольцевом пространстве вокруг топлива. Общий объем системы с гелием-3 равен 15 литрам, а масса - 2 граммам. Скорость производства трития составляет 50 МБк/с при максимальных мощности реактора и давлении гелия (1 МПа). При непрерывной работе экспериментальная система могла бы производить 4,3 грамма трития в год.
- После эксперимента с быстрым изменением мощности с гелием-3 газ может быть выведен для извлечения трития. Газ, поглощающий нейтроны (например, гелий-3), может вводиться или выводиться строго управляемым образом, обеспечивая переменную защиту, необходимую для четко определенного изменения потока в окрестности исследуемого топливного стержня. В конце эксперимента образованный тритий

может быть собран. Во время регулярных испытаний в течение года может быть произведено от менее одного грамма до нескольких граммов трития¹⁰⁶.

- В высокотемпературном реакторе с газовым охлаждением можно извлекать тритий, непреднамеренно образующийся в гелиевом охладителе. При содержании гелия-3 в 0,2 части на миллион скорость производства будет составлять от 0,06 до 0,23 грамма на ГВт в год в зависимости от содержания гелия в активной зоне (от 4 до 20 процентов)¹⁰⁷. Скорость производства может быть значительно увеличена при обогащении охладителя гелием-3.

Нелегальное извлечение трития из имеющихся запасов

Если тритий доступен в любой физической или химической форме, то будут и многочисленные способы нелегально извлечь его для применения в оружии. В последующем анализе эти способы будут разделены на две различные категории. Одна связана с извлечением трития из запасов или производственных процессов, а вторая с извлечением оставленного трития. Для большинства этих способов максимальное извлекаемое количество трития зависит от общего доступного количества трития и относительной точности учета и проверки запасов (раздел по верификации приводится ниже).

Нелегальное извлечение хранящегося или используемого трития (типы предприятий 6 - 8, см. табл. Б.1)

- Необъявленная передача трития из "области материального баланса".
- Частичное уменьшение запасов при транспортировке.
- Завышение содержания трития в отходах.
- Объявление выброса в окружающую среду.
- Использование части (например, 80 процентов) объявленного количества трития в светящихся красках или других продуктах.
- Переключение собранных "скрытых" запасов.
- Сбор и очистка всего трития, производящегося в исследовательских термоядерных реакторах. В дейтерий-дейтериевом синтезе в экспериментах Токамак производится 10^{-4} грамма в год при среднем выходе в 10^{16} DD-реакций на импульс и 10^4 импульсах в год¹⁰⁸.

Необъявленное извлечение оставленного трития (в особенности на предприятиях типов 4 - 6)

- Тайное выделение и очистка трития из отходов. Ожидается, что вклад отходов в неучтенный тритий на предприятии, проводящем операции с тритием, будет мал, поскольку годовой объем отходов обычно по порядку величины равен одному проценту от запасов. Единственным исключением могут быть заводы по переработке, на которых в потоках отходов может содержаться большое количество трития (в случае процесса ПУРЭКС до 20 процентов).
- Тайное выделение и очистка трития из водных или газовых потоков. Ожидается, что вклад потоков в неучтенный тритий на предприятии, проводящем операции с тритием, будет мал, поскольку годовой объем потоков обычно по порядку величины равен одному проценту от запасов. Единственным исключением могут быть заводы по переработке, на которых в потоках может содержаться большое количество трития (в случае процесса ПУРЭКС до 80 процентов).
- Тайное выделение и очистка трития из коммер-

ческих готовых изделий. Основной трудностью этого способа будет тайный сбор достаточного количества оставленных продуктов. Самое большое количество трития содержится в фонарях для удаленных аэродромов (по 0,05 - 0,1 грамма в изделии), но в большинстве продуктов трития намного меньше (до 0,01 грамма). Полезное время жизни газонаполненного источника света с тритием составляет от 8 до 10 лет. После этого значительная часть начального запаса распадется из-за периода полураспада, равного 12,3 года. Остаток может быть извлечен и повторно использован. Для того, чтобы собрать один грамм трития, понадобится по крайней мере 20 фонарей для посадочных полос или более 200 больших знаков "Выход".

Сводка анализа путей переключения

Наиболее эффективным и экономичным способом производства трития является литиевый метод. Этот метод используется во всех признанных ядерных державах. Мишени из гелия-3 рассматриваются для будущих промышленных систем на основе ускорителей. Но этот метод, хотя и возможен технически, в настоящее время в больших масштабах не применяется. Канада является крупнейшим производителем трития для гражданских целей. Ее мощности позволяют ежегодно извлекать до 2,5 килограммов трития из замедлителя и охладителя 21 энергетического реактора КАНДУ (см. выше). Из этого анализа путей переключения следует, что ключевым элементом современного производства трития является ядерный реактор.

Поэтому меры контроля могут, вероятно, быть сосредоточены на ядерных реакторах с возможным дополнением мероприятиями на заводах изготовления топлива и других предприятиях с большими запасами или потоками трития. Большие коммерческие заводы по переработке с производительностью более 12,5 тонн тяжелого металла в год и предприятия по очистке от трития представляют значительный потенциал для переключения из-за того, что через них проходят значительные потоки трития (до 100 граммов и 2,5 килограммов соответственно), но во всем мире их не так много (см. табл. Б.1), но тайное извлечение переключаемого трития из водных или твердых отходов провести очень трудно.

Для оценки риска распространения, представляемого различными запасами трития на разных предприятиях интересно создать картину потоков и запасов трития в разных местах. В табл. 4 представлен обзор общемировых источников трития (непреднамеренных, преднамеренных и потенциальных) и его запасов на различных типах предприятий и в природе. Типы и количество предприятий во всем мире показаны в табл. Б.1. Распределение запасов трития в странах, в которых производство превышает 1 грамм в год, показано на рис. 3.

ДВА ПОДХОДА К МЕЖДУНАРОДНОМУ КОНТРОЛЮ ЗА ТРИТИЕМ

Для контроля за тритием на международном уровне имеется несколько возможностей¹⁰⁹. В этом разделе намечены два выбранных подхода. Основное внимание уделяется целям, правилам, процедурам принятия решений (в особенности, верификации) и наиболее важным направлениям изменения режима. С этой точки зрения производится оценка осуществимости предлагаемого контроля за тритием¹¹⁰.

Первый подход представляет собой расширенный вариант широко обсуждавшегося верифицируемого прекращения производства расщепляющихся материалов. Он включает прекращение производства трития для военных целей в дополнение к прекращению производства плутония и высокообогащен-

ного урана и поэтому называется "интегрированным прекращением" (ИП). Второй подход предусматривает контроль за всеми гражданскими предприятиями по производству и использованию трития для того, чтобы обеспечить уверенность в отсутствии переключения трития в любую программу ядерного оружия; он называется "международной системой контроля за тритием" (МСКТ). ИП относится ко всем объявленным и не объявленным ядерным державам, а МСКТ - ко всем государствам.

Режим ядерного нераспространения и концепция "диффузной взаимности"

История режима ядерного нераспространения показала, что ни один из существующих инструментов не охватывает конкретных правил и процедур для обеих измерений (вертикального и горизонтального) ядерного нераспространения, несмотря на то, что взаимная связь между ними во многих инструментах формулируется в нормативном порядке. Это привело к созданию режима, в котором инструменты работают для вертикального и горизонтального распространения до тех пор, пока рассматривается уровень специфических правил и процедур (см. табл. 5)¹¹¹. Эта концепция "диффузной взаимности" между усилиями по вертикальному и горизонтальному нераспространению в основном развился в начале 60-х г.г. и был предназначен для отражения "общего баланса"¹¹². Эти взаимные связи особенно видны в Договоре по нераспространению. Он адресует к горизонтальному распространению специфически в терминах конкретных правил и процедур. С другой стороны, Договор по нераспространению только определяет норму обращения вертикального распространения и работы в направлении полного ядерного разоружения. Но этот договор не определяет никаких специфических правил и процедур и никакого фиксированного графика для этого направления. Все, что должны делать все признанные ядерные державы, это проявлять необходимую "добрую волю" (статья VI) в переговорах по контролю над вооружениями и разоружению.

Поэтому простая международная система контроля за тритием, включающая правила и процедуры для обеих измерений ядерного распространения, была бы беспрецедентной. Для того, чтобы найти политические приемлемые решения, относящиеся к международному контролю за тритием, существующая структура режима должна предоставлять базу, на которой будут основаны все последующие соображения. Принимая во внимание это квалифицированное различие между обеими измерениями нераспространения, были представлены два предложения по контролю за тритием (см. табл. 5).

Реализация обеих систем контроля приведет к изменению и добавлению новых определенных правил и процедур внутри режима, но его нормативная база будет оставаться той же самой. Действующие правила и процедуры не будут заменены, но расширены для того, чтобы включить контроль за тритием¹¹³.

Более того, предполагается, что оба инструмента контроля за тритием будут вводиться одновременно. Это является важным требованием, поскольку ИП без контроля за гражданскими предприятиями, который делается в МСКТ, будет иметь потенциальную "лазейку" в верификации. Поэтому МСКТ будет не только полезной мерой против горизонтального распространения трития, но и важным дополнением ИП. Однако, если ИП будет реализовываться без МСКТ, то верификация может выйти за пределы того, что рассматривается в этой статье, для расширения гарантий на гражданские запасы и предприятия.

Ежегодное производство и импорт трития для гражданских целей

Аргентина	200
Бельгия	1
Канада	3200
Франция	5
Германия	7
Индия	270
Япония	4
Корея	135
Норвегия	2
Пакистан	26
Южная Африка	1
Швейцария	5
Великобритания	125
США	26

Ежегодные изменения военных запасов трития

Китай	62
Франция	86
Индия	7
Израиль	22
Казахстан	190
Пакистан	1
Россия	2900
Великобритания	28
Украина	220
США	3800



Рисунок 3

Изменения запасов трития в мире. Из-за сравнительно быстрого распада трития динамика изменения запасов важнее абсолютных запасов. В гражданском секторе запасы растут быстрее, чем происходит распад, а в военном секторе картина прямо противоположна. В последнем случае показано уменьшение запасов из-за радиоактивного распада, поскольку эти данные известны лучше, чем производство. Числа соответствуют граммам в год.

Тритий в прекращении производства расщепляющихся материалов

Основные сведения

В 60-х г.г. США сделало несколько предложений о прекращении производства расщепляющихся материалов - плутония и высокообогащенного урана. Тогда такое предложение всегда отвергалось СССР. В 80-х г.г. ситуация переменилась. 15 июня 1982 г. министр иностранных дел СССР А. Громыко предложил прекращение производства расщепляющихся материалов в качестве важного начального этапа для достижения полного ядерного разоружения.

Благодаря последним успехам в сокращении ядерных вооружений (РСД/РМД, СНВ-I и II, односторонним сокращениям тактического и другого ядерного вооружения) начали обсуждаться предложения о глубоких сокращениях и даже о мире, свободном от ядерного оружия. В этом контексте предложение о прекращении производства снова вошло в политическую повестку дня. Конец "холодной войны" обеспечил политический климат, казавшийся более благоприятным для такого прекращения, чем когда бы то ни было.

27 сентября 1993 года президент США Билл Клинтон выдвинул всеобъемлющий подход к обращению с расщепляющимися материалами, включающий предложение по "многосторонней конвенции, запрещающей производство высокообогащенного урана или плутония для целей ядерных взрывных устройств или вне международных гарантий". В октябре 1993 года Россия пошла по тому же пути, предложив провести переговоры по этому вопросу

на конференции по разоружению (КР)¹¹⁴. В ноябре 1993 года первый комитет КР впервые за последние 15 лет единогласно принял проект резолюции о запрещении производства расщепляющихся материалов для оружия. Соответственно, в декабре 1993 года Генеральная ассамблея ООН приняла резолюцию 48/75L, призывающую к переговорам по этому вопросу.

В то время как предложение Клинтона определяло плутоний и высокообогащенный уран как расщепляющиеся материалы, которые должны быть ограничены, в обеих резолюциях ООН не определялись затрагиваемые субстанции, что оставляло также открытой и возможность ограничения производства трития. Однако, тритий редко упоминался в обсуждениях. США и Россия начали детальные переговоры по расщепляющимся материалам в мае 1994 года. 23 июня 1994 года Эл Гор и Виктор Черномырдин подписали соглашение о выключении трех оставшихся российских промышленных реакторов к 2000 году. В ответ США обязались не запускать заново свои выключенные промышленные реакторы и помочь России найти альтернативы для производства тепла и электроэнергии, до сих пор вырабатываемых российскими реакторами. Тритий в соглашении не упоминался. В приложении приведен перечень реакторов для производства плутония, в котором не упоминались выключенный К-реактор на заводе в Саванна-Ривер и два до сих пор работающих легководных реактора ("Людмила" и "Руслан") в Озерске с мощностью примерно по 1000 Мвт у каждого, которые используются для производства трития и специальных изотопов, например, Pu-238. Это представляет серьезную лазейку по отношению

Таблица 5

Положение обеих предложений по соглашениям для международного контроля над тритием среди главных инструментов режима ядерного нераспространения

Вертикальное нераспространение	Горизонтальное нераспространение
<p>Частичное запрещение испытаний (1963)</p> <p>ОСВ-I (1972) Ограничение мощности испытаний (1974) Договор о мирных ядерных взрывах (1976) ОСВ-II (1979)</p> <p>РСД/РМД (1987) СНВ-I (1991) СНВ-II (1993)</p> <p>ИП (предложено в этой статье)</p>	<p>КоКом (1949) МАГАТЭ (1957) Евратом (1957)</p> <p>Договор Тлателолко (1967) Договор о нераспространении (1970)</p> <p>Группа ядерных поставщиков (1974)</p> <p>Договор Раротонга (1985)</p> <p>МСКТ (предложена в этой статье)</p>
<p>Мероприятия ООН по разоружению^a: Специальные сессии ООН по разоружению I-III (1978, 1982, 1988) Конференция по разоружению (КР) Комиссия ООН по разоружению Совет Безопасности Генеральная ассамблея (регулярные сессии, первый комитет, несколько особых комитетов)</p>	<p>Национальный контроль за экспортом (частично основан на соглашениях КоКом и группы ядерных поставщиков)</p> <p>Мероприятия ООН по разоружению: Совет Безопасности (механизмы санкций) Генеральная ассамблея</p>

^a Детали см. в Department for Disarmament Affairs (1984)¹¹⁵.

к выполнению данного соглашения, потому что они могут использоваться и как реакторы для производства плутония. Вообще говоря, все реакторы для производства трития могут быть легко использованы для производства плутония.

Возможность замены исходных материалов, лития и урана, зависит от конфигурации активной зоны и от конструкции топливных элементов и мишеней. Помимо замены материала мишени, может понадобиться небольшая реконфигурация активной зоны. Такая процедура может быть простой, когда элементы мишени отделены от элементов топлива. Если материалы топлива и мишени объединены в одних и тех же элементах, то замена мишеней для производства трития на мишени для производства плутония может оказаться дорогой. Однако, физических причин, препятствующих такой замене, нет.

В самом деле, К-реактор, который практически идентичен L-, P-, R- и S-реакторам на заводе в Саванна-Ривер, после 1983 года в течение нескольких лет использовался для производства плутония сверхвысокого качества (3 процента Pu-240)¹¹⁶. Назначение этого реактора изменилось после выключения в 1986 году С-реактора, который был предназначен для производства трития. Обычной практикой было совместное производство плутония и трития. Все американские промышленные реакторы были выключены после 1988 года. Планы повторного запуска К-реактора были оставлены и строительство новой промышленной установки вряд ли начнется до 2000 года (см. выше).

Если по соглашению "прекращения" реакторы для промышленного производства трития будут продолжать работу, и если в промышленном реакторе в части активной зоны будет использоваться высокообогащенный уран, это вызовет дополнительные сложности по гарантиям для военных запасов высокообогащенного урана. Однако, весьма маловероятно, что это подорвет прекращение производства высокообогащенного урана, поскольку ни США, ни Россия не эксплуатируют, в настоящее время пот-

ребляющие этот материал реакторы, а количество высокообогащенного урана в военных запасах из демонтированного ядерного оружия и из переработанного топлива подводных лодок вполне достаточно для того, чтобы при необходимости запустить такой реактор.

Влияние военного производства трития на верифицируемость прекращения производства расщепляющихся материалов

В некоторой степени верификация соглашения по прекращению производства расщепляющихся материалов¹¹⁷ может быть основана на методах дистанционного зондирования¹¹⁸. Участники такого соглашения должны будут обмениваться соответствующими данными по своим установкам для производства трития, в особенности, по расположению промышленных реакторов. Операционное состояние (эксплуатация, резерв, холодный резерв, демонтаж) объявленных установок для военного производства может быть верифицировано посредством дистанционного зондирования при помощи национальных технических средств или будущего международного агентства спутниковой верификации, возможно, под эгидой МАГАТЭ или ООН. Если реакторы выключены, то прекращение производства трития может быть легко проверено наблюдениями отсутствия генерации тепла, которое указывает на неактивное состояние промышленных реакторов. Из различных исследований хорошо известно, что технические возможности развиты довольно сильно, и что такая верификация возможна¹¹⁹. Опора на дистанционное зондирование как единственный метод верификации позволит государствам избежать инспекций, которые могут включать нежелательное вмешательство и риск распространения.

Однако, если в верифицируемом соглашении о прекращении производства расщепляющихся материалов будет продолжаться производство трития, то следует подтверждать отсутствие изготовления

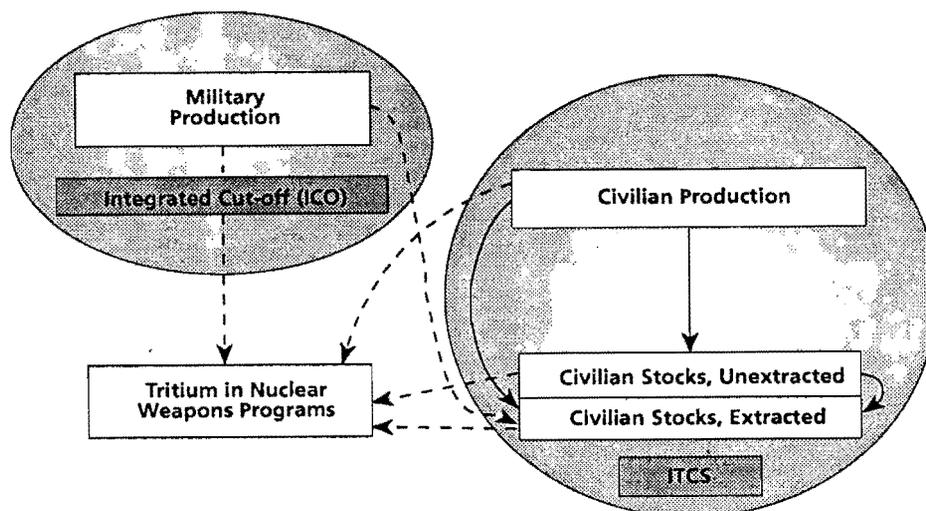


Рисунок 4

Влияние выполнения предложений "интегрированного прекращения" и "международной системы контроля за тритием" на пути распространения трития. Сплошные линии: разрешенные пути передачи трития. Пунктирные линии: пути передачи трития, запрещенные обоими предложениями по международному контролю за тритием, ИП и МСКТ.

плутония на реакторах для производства трития. Так будет потому, что производства трития и плутония конкурируют друг с другом в потреблении нейтронов, образующихся в промышленном реакторе или ускорителе. Такая задача верификации должна быть гораздо более проникающей, чем верификация интегрированного прекращения, которое включает тритий, и она может дать некоторые сведения о производстве трития.

Сначала должны быть объявлены данные о всех работах по производству трития. Даже без доступа на установку для производства трития первые указания на нелегальное производство плутония могут быть получены из циклов работы реактора. Для перегрузки топлива и мишеней реактор должен быть выключен. Для получения плутония сверхвысокого качества мишени обычно облучаются в течение 30 суток, и в течение 60 суток для получения плутония оружейного качества (6 процентов Pu-240). Производство трития обычно требует более длительных производственных циклов (около 200 суток). После такого длительного цикла качество изотопного состава плутония не будет удовлетворять стандартам государства с ядерным оружием.

Более адекватная верификация требует доступа к промышленному реактору и должны быть выполнены проникающие меры контроля. Инспекции должны проводиться по крайней мере во время перегрузки активной зоны. Все новые топливные элементы и мишени должны проверяться методами неразрушающего контроля на отсутствие природного или обедненного урана, которые служат сырьевым материалом для производства плутония. Это может быть достигнуто определением содержания урана и его изотопного состава при помощи совпадательных счетчиков нейтронов. Все такие мишени должны находиться под гарантиями ограничения и наблюдения для того, чтобы не допустить их переработки для извлечения плутония. Все топливные элементы и мишени должны быть помечены для повторного отождествления при следующем выключении.

Во время циклов эксплуатации присутствие инспекторов может не потребоваться. Устройства

для загрузки и разгрузки, а также доступ к топливу и мишеням в реакторе должны быть опечатаны. Должны быть установлены видеокамеры для наблюдения за соответствующими площадками в здании реактора. Печати и видеоленты должны проверяться через регулярные промежутки времени для того, чтобы убедиться в отсутствии изменений в активной зоне реактора за отчетные периоды.

Для того, чтобы проверить использование нейтронов для производства трития, а не плутония, инспекторы должны получить достаточную информацию для оценки скорости производства трития. Эта информация во всех ядерных государствах всегда рассматривалась как весьма секретная и связанная с национальной безопасностью.

И, наконец, ясно, что верификация прекращения будет намного проще и менее проникающей, если в подобное соглашение будет включен тритий. Более того, закроется потенциальный путь переключения плутония.

Характеристики "интегрированного прекращения" (ИП)

Целью ИП является недоступность источников свежего трития для программ ядерного оружия как средство для запрещения вертикального распространения в государствах, обладающих ядерным оружием или возможностью его создания, и для продвижения по пути полного ядерного разоружения, или "денуклеаризации" указанных государств. Потенциальными странами-участницами ИП могут быть только признанные и фактические ядерные державы. Цель ИП сравнима с принципами и нормами, на которых основан весь режим ядерного нераспространения. На самом деле нормативная структура режима будет усилена при введении ИП.

Четырьмя ключевыми правилами ИП являются следующие¹²⁰:

- Для целей ядерного оружия не должно производиться никакого трития.
- Все военные установки для производства трития

должны быть выключены и поддерживаться в сравнимом для обеих государств состоянии. Предлагаемое здесь состояние называется "холодным резервом"¹²¹. Это состояние должно быть верифицируемым.

- Не должно строиться никаких новых предприятий для производства трития и не должно разрабатываться никаких новых технологий производства трития, например, технологии ускорителей.
- Никакие гражданские предприятия не должны преобразовываться в военные, или использоваться для военных целей, и никакого трития, произведенного на гражданских предприятиях, не должно передаваться для использования в военных целях.

Главными преимуществами ИП по сравнению с "прекращением производства расщепляющихся материалов" являются:

- По сравнению с предложением "прекращения", ИП представляет собой более сильное обязательство ядерных держав по отношению к полному ядерному разоружению. Следовательно, хотя предлагаемое ИП должно регулировать тритий в направлении вертикального нераспространения, оно содержит также важные следствия для горизонтального нераспространения. Тритий представляет собой незаменимый материал для усложненной программы ядерного оружия, который базируется на ядерных устройствах второго поколения. Поскольку поддержание такого арсенала требует непрерывной поставки трития, в то время как однажды произведенные плутоний и высокообогащенный уран могут храниться почти бесконечно долго, ИП усилит давление на запланированное выполнение СНВ-I и СНВ-II и, в конце концов, на переговоры по сокращению за СНВ-II, которые не могут быть вызваны одним "прекращением"¹²². Эти сокращения могут сопровождаться изменением относящихся к ним военных доктрин и стратегии.
- Если выполнение СНВ будет происходить по плану, то в обеих ядерных сверхдержавках не будет необходимости возобновлять производство трития в течение более чем 20 лет¹²³. Поэтому любая возможная асимметрия по отношению к нехватке трития для ядерных арсеналов США или России в течение этого времени будет несущественна¹²⁴.
- Верификация этого "нулевого подхода" будет легче и менее раздражающа (см. выше). ИП будет сопровождаться также существенными эффектами экономии на двух уровнях. Во-первых, это стоимость эксплуатации, или даже строительства новых реакторов для производства трития¹²⁵. Во-вторых, нужны дополнительные затраты на верификацию "прекращения", которые будут отсутствовать в ИП (см. выше).

ИП может действовать либо в течение определенного периода времени, либо может быть заключен как постоянный договор. В случае неограниченного договора страна-участница должна иметь возможность выйти из ИП. Статья о выходе должна учитывать то, что для повторного запуска реактора в состоянии "холодного резерва" требуется некоторое время, и что пройдет дополнительное время, пока свежий тритий станет доступным для программы ядерного оружия. Следовательно, период после объявления о выходе может быть сравнительно коротким: может быть, от трех до шести месяцев. В случае ограниченного подхода должно быть согласовано проведение конференции после истечения срока действия договора для решения вопроса о продлении договора. Договор может начаться на

двустороннем уровне между США и Россией и должен действовать по крайней мере до 2010 года¹²⁶. Эта дата кажется в особенности подходящей из-за того, что обе ядерные державы могут возобновлять производство трития по крайней мере до 2016 года и в то же время поддерживать ядерные арсеналы на уровне СНВ-II, и что шести лет будет достаточно для строительства новой промышленной установки или для повторного запуска реактора из "холодного резерва".

Поэтому 2010 год можно рассматривать как самый удобный год для проведения вышеупомянутой конференции по продлению. Любое решение по продлению договора должно очень сильно зависеть от прогресса в процессе ядерного разоружения, т.е., выйдет ли этот процесс за рамки СНВ-2. Кроме того, в это время продление может быть дополнено включением в договор других ядерных держав (см. ниже). Если они не согласятся продлить договор, то страны-участницы получат разрешение начать строительство новых установок для производства трития или повторный запуск установок, находящихся в состоянии "холодного резерва". Здесь в игру вступает упомянутый ранее принцип сравнимого состояния реакторов (т.е., "холодный резерв"), поскольку возобновление производства трития может поставить одну из сторон в невыгодное положение, если другая сторона сможет запустить реактор быстрее, чем другая¹²⁷.

В зависимости от срока действия такого договора, необходимо проводить периодические конференции, поскольку может понадобиться сделать политические или технические дополнения или разъяснить интерпретацию специфических терминов. Другая причина заключается в том, что в договоре принят трехэтапный подход (см. раздел "Изменение размерностей режима"). Обзорные конференции могут стать форумом для принятия решений по реализации второго или третьего этапов соответственно. Кроме того, будущие участники договора могут получить статус наблюдателей до того, как стать полноправными членами. В случае ограниченного договора обзорная конференция может состояться до принятия любого решения о продлении ИП.

Верификация интегрированного прекращения

Технические аспекты верификации ИП обсуждаются в приложении Б. Вообще говоря, участники договора должны объявить окончание производства трития для ядерного оружия и обменяться соответствующими данными (эксплуатационными характеристиками, датой закрытия, техническими данными о состоянии установок и т.д.). Состояние промышленных установок ("холодный резерв") может быть проверено методами дистанционного зондирования (см. выше) и инспекциями на месте. Обнаружение возможных тайных промышленных установок является важным вопросом такого соглашения. Поскольку имеется правило не строить любых новых промышленных установок, такое обязательство необходимо проверять. В некоторой степени, существующие средства космического и самолетного дистанционного зондирования способны обнаружить тайные установки¹²⁸.

В некотором случае разовые выбросы криптона-85 как индикаторы тайного выделения плутония могут наблюдаться при изучении осадков на расстояниях до нескольких сотен километров¹²⁹. Отслеживая траектории движения воздуха, возможно проследить выбросы вплоть до подозреваемого источника на расстоянии в сотни километров. То же самое справедливо и для производства трития. Поскольку тритий является очень подвижным газом, полностью сохранить его невозможно. Производство трития и обращение с ним включают несколько про-

цессов, в ходе которых утечка трития неизбежна. Следовательно, эмиссия трития может быть использована как индикатор тайных установок по производству трития и обращению с ним.

Предполагая потери при удержании равными 0,1 процента в год, по измерению общей эмиссии можно обнаружить тритиевые установки с запасами более 0,01 ТБк. Это на четыре порядка величины меньше существенного количества (один грамм, см. приложение Б). Такое обнаружение может вызвать дополнительные инспекции на месте для выявления подготавливаемой нелегальной активности.

В дополнение потребуются гарантии для гражданских установок по производству трития для предотвращения передачи трития для военных целей. Без военного производства трития ядерные державы из-за распада трития через некоторое время окажутся в таком же положении по отношению к тритию, что и неядерные государства. Поэтому при успешном выполнении ИП контроль за тритием столкнется с проблемой переклечения трития с гражданских установок для военных целей. Это перекрывается подходом МСКТ, предлагаемым в этой статье. Если он не будет выполняться одновременно, то верификацию на гражданских установках следует предусмотреть внутри ИП.

Изменение размерностей режима, обсуждаемое в ИП

Режимы могут меняться со временем или с различными регулируемыми вопросами несколькими способами. В отношении к изменению режима ядерного нераспространения из-за включения контроля за тритием при рассмотрении влияния ИП и МСКТ на режим особый интерес представляют переменные силы, организационной формы и области действия¹³⁰.

Новое соглашение, перекрывающее дополнительный вопрос, подобный тритию, будет полезным только тогда, когда оно усилит режим ядерного распространения. Организационная форма в первую очередь относится к степени институционализации и требованиям к административному аппарату. Область действия режима относится к перечню вопросов, которые перекрывает режим. Сила режима измеряется степенью выполнения. Поэтому расширение области действия не обязательно усиливает международный режим, поскольку государства могут не следовать принятым обязательствам. Фактически дополнительный регулируемый вопрос, подобный контролю за тритием, может даже ослабить режим, если участники договора не будут выполнять его так, как это установлено соответствующим соглашением.

Далее, хотя каждое обнаружение нарушения правил указывает на меньшую степень выполнения, его появление не будет представлять достаточного доказательства того, что система контроля за тритием должна рассматриваться как слабый инструмент контроля. Сила инструмента контроля может быть поставлена под вопрос, если только происходят систематические нарушения правил.

Для организационной системы согласованных правил ИП возможно несколько альтернатив. Здесь рассматривается трехэтапный подход. Первый этап включает только США и Россию. Поэтому ИП начнется на двустороннем уровне. Чем ближе ядерные арсеналы обеих стран приблизятся к уровню других признанных ядерных держав, тем сильнее они будут призывать Францию, Китай и Великобританию участвовать в этом процессе (втором этапе), переводя его на многосторонний уровень. На третьем этапе к этому договору могут присоединиться фактические ядерные государства, Индия, Пакистан и Израиль, так же как и любое другое государство, которое сочтет это нужным¹³¹.

Даже если будет реализован этот третий этап

ИП, в режим ядерного нераспространения не будет включено никаких новых стран. Тем не менее, некоторые государства, находящиеся сейчас на периферии этого режима, Израиль, Индия, Пакистан, будут привязаны к нему более тесно. Поскольку большинство текущих предложений по "прекращению" включают только две ядерных сверхдержавы или все пять признанных ядерных государств, предлагаемое ИП с его трехэтапным подходом предусматривает большее членство во сравнении с "прекращением". Главная причина такого подхода лежит в неравных ядерных арсеналах, которыми обладают соответствующие страны, так же как и различное состояние их программ. Хотя показанный подход кажется логическим решением для постепенного увеличения членства в ИП, договор должен быть открыт для любого ядерного государства в любое время.

Вероятно, верификация будет оставаться на двустороннем уровне до тех пор, пока участниками ИП будут только США и Россия. Международный верификационный орган станет особенно желательным только тогда, когда членство выйдет за двусторонний уровень и другие три признанных ядерных государства станут участниками договора. Поскольку первый этап будет включать только США и Россию, будет выиграно значительное количество времени для развития процедур международного контроля¹³².

Вопросы, перекрываемые режимом, определяют область действия режима в функциональных терминах. Одно "прекращение" производства плутония и высокообогащенного урана, уже стоящее в современной политической повестке дня, расширяет область действия режима ядерного нераспространения. Включение трития, т.е. ИП, будет означать расширение области действия обсуждаемых сейчас предложений по "прекращению" и всего режима ядерного нераспространения.

Сила режима измеряется степенью выполнения договора его участниками. Хотя участники ИП формально выскажут свое политическое желание к выполнению, правительств и национальные интересы могут измениться и "обман" останется проблемой. Другой проблемой могут стать возможные действия субнациональных групп по переключению. Поэтому будут необходимы технические средства верификации.

Международная система контроля за тритием (МСКТ)

Характеристики МСКТ

Этот подход к контролю за тритием имеет дело с измерением горизонтального распространения. Все государства международной системы рассматриваются как члены такого международного соглашения на недискриминационной основе, поскольку оно покрывает все гражданские установки для производства или обращения с тритием¹³³.

Причиной МСКТ является то, что весь тритий, который произведен или используется на гражданских установках, может использоваться также для целей ядерного оружия из-за двойственной природы этого материала. Целью МСКТ является обнаружение и предотвращение нелегального переклечения трития из гражданских установок на военные цели.

Четырьмя правилами этой системы контроля за тритием являются:

- Никакой тритий, произведенный на гражданских установках, не может оказаться доступным для целей ядерных взрывов где бы то ни было¹³⁴.
- Никакой тритий не может экспортироваться в страны, не являющиеся участниками договора¹³⁵.

- Государства-участники договора могут приобрести тритий посредством импорта или собственного производства для гражданских целей при условии проведения ими мер по учету, сообщения данных (включающих технические данные о состоянии установок, объявление производственных мощностей и реального производства, важных в особенности для реакторов с тяжелой водой и связанных установок по выделению, объявление имеющихся запасов трития, учетные ведомости) наблюдающему международному агентству и приема инспекций всех установок с тритием и запасов (детали верификации будут рассмотрены ниже).
- Если накопленное количество или годовой поток трития (включая импорт и собственное производство) в государстве-участнике договора превысит военно значимое количество в один грамм, то тритий должен инспектироваться. Это включает верификацию конечного использования экспортируемого трития.

Договор может действовать в течение указанного периода или считаться постоянным. Так же, как для ИП, если будет принят постоянный договор, то участники должны иметь возможность выхода из МСКТ. Если МСКТ будет действовать в течение указанного времени, в договоре должна быть предусмотрена конференция по его продлению.

В зависимости от продолжительности действия такого договора, должны проводиться периодические обзорные конференции, поскольку необходимо делать политические или технические дополнения или разъяснять интерпретацию конкретных терминов или слов. Кроме того, если длительность действия МСКТ будет ограничена, то перед принятием решения о возможном его продлении следует сделать оценку достижений.

Верификация МСКТ

Обсуждение технических аспектов гарантий в приложении Б ясно показывает, что МСКТ может быть верифицировано. Установки в странах-участниках договора, на которых намеренно или непреднамеренно производится тритий, илли установки, на которых он находится (включая промышленные или научные организации с запасами или годовым потоком более одного грамма трития), должны подвергаться инспекциям. Предварительным условием является наличие эффективной национальной системы учета трития и объявление всех работ с тритием. Большая часть затронутых установок аналогична тем, которые уже инспектируются МАГАТЭ. Если МАГАТЭ уже инспектирует эти установки, то им нужно будет выполнить только несколько дополнительных работ (технические аспекты верификации обсуждаются в приложении Б).

Поскольку, как отмечалось выше, задачи верификации МСКТ аналогичны тем, которые проводятся МАГАТЭ по плутонию и высокообогащенному урану, кажется целесообразным рассмотреть такой "тритиевый мандат" для МАГАТЭ. Это агентство является единственной международной организацией внутри режима, проводящей верификационные мероприятия по всему миру без региональных ограничений, присущих Евратому или ОПАНАЛ. На деле, если договор о нераспространении будет дополнен для покрытия трития, МАГАТЭ автоматически станет агентством, ответственным за верификацию.

Работы по верификации, относящиеся к тритию, сравнимы с принципами и нормами устава МАГАТЭ. В соответствии со статьей III.5 устава МАГАТЭ агентство предназначено для "установления и управления гарантиями, разработанными для обеспечения уверенности в том, что специальные расщепляющиеся и прочие материалы, услуги, оборудова-

ние, предприятия и информация ... не будут использоваться таким образом, чтобы служить любой военной цели" (курсив добавлен). Тем не менее, такое включение потребует дополнения типового соглашения INFCIRC/153 1971 года или создания нового типового соглашения между странами-участниками МСКТ и МАГАТЭ. Последнее может быть создано на основе структуры INFCIRC/153 и ее специального приложения к тритию. После этого все права МАГАТЭ как верифицирующего агентства по плутонию и высокообогащенному урану будут относиться и к тритию, включая и право на "специальные инспекции" (INFCIRC/153, параграф 73).

Если МАГАТЭ не будет верифицирующим агентством, то для выполнения этих задач должен быть создан новый инструмент. Однако, создание нового международного агентства с "мандатом контроля за тритием" будет непростым из-за стоимости и политической приемлемости. Поскольку отдельное верификационное агентство специально для трития не обладает сильной политической приемлемостью¹³⁶, МАГАТЭ представляется "естественным" решением.

Изменения размерности режима, обсуждавшиеся для МСКТ

Имеется несколько альтернатив для *организационной структуры* согласованных правил. МСКТ может рассматриваться как договор. Напротив, она может стать частью существующих инструментов режима, которые для этой цели должны быть дополнены. Имеется немалое сходство между контролем за ядерными материалами, уже осуществляемым МАГАТЭ, и контролем за тритием, предлагаемым в МСКТ. Из намеченного выше сценария можно легко сделать вывод о том, что договором для контроля за тритием может быть Договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО). Процедуры решений для дополнения ДНЯО уже имеются (статья VIII). Дополнение может быть достигнуто либо изменением текста договора или приложением протокола. ДНЯО включает все элементы, необходимые для контроля за тритием на международном уровне, но обладает большим числом недостатков¹³⁷.

Таким образом, если контроль за тритием будет включен в ДНЯО, то он унаследует также все его проблемы и ограничения. Однако, открытие ДНЯО, вероятно, вызовет многочисленные предложения сторон по изменению договора. В столь трудной переговорной ситуации без реальной перспективы решения, переговаривающиеся стороны обычно возвращаются к исходному соглашению без всяких изменений. Это может в конце концов закрыть ДНЯО для перекрытия любой формы контроля за тритием. Поэтому решение этой проблемы должно быть найдено в результате доверительных переговоров между странами-участниками, предлагающими ввести МСКТ в структуру ДНЯО. Напротив, может быть рассмотрен дополнительный протокол к ДНЯО. Подписание и ратификация протокола могут проводиться отдельно индивидуальными участниками ДНЯО, что дает преимущество оставлять ДНЯО в силе и не ставить существование договора в целом, который будет включать тритий, в зависимость от зачастую длительного процесса ратификации. Однако, такой протокол может все таки рассматриваться сторонами как открытие ДНЯО, поскольку протокол будет рассматриваться как составная часть договора.

С другой стороны, отдельное международное соглашение, построенное на основе INFCIRC/153 и специально предназначенное для контроля за тритием, может стать адекватным решением. Но, несмотря на то, как будет организована МСКТ, продолжение ДНЯО, или замена эквивалентным соглашением, является необходимым условием достижения объявленной цели контроля над тритием, поскольку

не имеет смысла контролировать тритий без контроля плутония и высокообогащенного урана.

Внутри этого измерения горизонтального распространения, область действия режима в терминах функций расширится, поскольку к уже контролируемым материалам добавится новый материал. Внутри вопроса экспортного контроля область действия также расширится в терминах функций, поскольку в ней потребуются контроль за конечным использованием, если получающая сторона накапливает более одного грамма трития. Более того, требование "полноразмерных гарантий" в МСКТ выходит за пределы словесных формулировок ДНЯО и может поэтому исключить осложнить включение в ДНЯО. Однако, "полноразмерные гарантии" уже стали обычной политической нераспространения в большинстве крупных государств, экспортирующих относящиеся к ядерному оружию материалы и технологию. Поэтому "полноразмерные гарантии" могут быть согласованы в дополнительном протоколе к ДНЯО и затем одинаково применятся к плутонию, высокообогащенному урану и тритию.

Можно ожидать, что государство, принявшее ДНЯО и лежащие в его основе принципы ядерного нераспространения, примет и дополнительный контроль за тритием. Поэтому сила ДНЯО не пострадает, если выполнение дополнительных мер МСКТ станет частью ДНЯО. Фактически, поскольку некоторые из правил МСКТ строже, чем правила ДНЯО (см. ниже), ДНЯО может выиграть от МСКТ, поскольку усиленное влияние правил МСКТ может доказать свою эффективность в смысле выполнения договора. В любом случае, для обнаружения и предотвращения "обмана" (в данном случае нелегального переключения трития из существующих гражданских запасов) будет использоваться верификация.

Связь между ИП и МСКТ

Несмотря на то, что внедрение хотя бы одного инструмента (ИП или МСКТ) уже усилит режим ядерного распространения, в этой статье рекомендуется внедрить оба взаимосвязанных инструмента одновременно и на равных условиях для того, чтобы достичь более сбалансированного и менее дискриминационного в как в горизонтальном, так и в вертикальном измерениях, контроля за тритием. В противном случае останутся "лазейки" для верификации. Если внедрить оба инструмента, то "свежий тритий" будет производиться только на гражданских установках и использоваться только для мирных целей. Существующие военные запасы не будут возобновляться и распадутся в течение нескольких десятилетий (см. выше). Если будет внедрена только МСКТ, то дискриминационная природа всего режима только усилится из-за того, что снова более мягко обращаться будут только с ядерными державами. С другой стороны, если будет внедрено только ИП, то необходимость контроля за тритием в гражданском секторе станет еще более ясным и потребность в МСКТ усилится из-за необходимости убедиться в том, что ни одно ядерное государство не получает тайно тритий из гражданских источников.

МСКТ, в особенности если оно является частью ДНЯО, теоретически может быть совмещено с ИП. После этого она может превратиться во широкую систему, охватывающую тритий, плутоний и высокообогащенный уран, и имеющую дело как с горизонтальным, так и с вертикальным распространением. Такая система контроля могла бы полностью осуществляться МАГАТЭ при условии предоставления ей мандата на регулярную проверку военных установок, которая должна подтвердить отсутствие производства всех трех материалов для ядерного оружия. Однако, при таком подходе размывается различие между инструментами, действующими непосредственно на горизонтальное или на верти-

кальное распространение, т.е. концепцию "диффузной взаимности" (см. выше), на которой до сих пор был основан режим ядерного нераспространения. Это может быть сделано лишь при опасении, что дискриминационная природа этого режима может быть воспринята как политически неприемлемая и международное сообщество будет готово к изменению ситуации.

ВЫВОДЫ

Политический и технический анализ этой статьи показывает, что международный контроль за тритием желателен и возможен. Это противоречит распространенному представлению о том, что контроль за тритием не имеет большого значения и может представлять непропорционально большие неудобства для инспектируемых стран и предприятий.

Хотя верно, что тритий не является материалом, необходимым для ядерного оружия первого поколения, его важность для фактических ядерных государств в аспекте вертикального распространения все больше признается на международном уровне. Обсуждается даже потенциальная роль трития для процесса ядерного разоружения, хотя до сих пор без каких-либо практических последствий. Но эти представления создают потребность в некотором виде международного контроля за тритием и его включения в режим ядерного нераспространения.

Вследствие этого некоторые инструменты против горизонтального распространения подняли контроль за тритием на международный уровень (КоКом между 1986 и 1994 гг., Группа ядерных поставщиков с 1992 г., обмен письмами между Канадой и Евратомом с 1991 г.) для дополнения мероприятий, существующих на национальном уровне (экспортного контроля и законодательства по радиационной защите). Таким образом контроль за тритием доказал способность включиться в режим. Однако, эти инструменты контроля представляют только лишь скромную, дискриминационную и недостаточную степень контроля против горизонтального распространения трития.

Более того, не имеется ничего, что могло бы исключить или противодействовать применению трития для поддержки вертикального распространения, хотя тритий представляет собой критический ингредиент в усовершенствованных ядерных арсеналах из-за того, что он позволяет сделать более легкие и компактные боеголовки при сохранении той же мощности.

Представленная здесь политическая оценка показывает, что область действия режима ядерного нераспространения разумно расширится при контроле за тритием, который предоставит режим с двумя дополнительными инструментами контроля и усилит режим ядерного нераспространения в целом. Представляется, что сейчас настало время для движения к такому более систематическому международному контролю за тритием.

Статья показывает, что ожидаемые неудобства и трудности верификации контроля за тритием основаны на недоразумениях. Принимая во внимание существующие запасы и источники трития вместе с консервативными оценками задач верификации (значимое количество всего в один грамм), верификация непереклочения технически возможна и недорога и нет фундаментальных проблем, относящихся к введению процедур верификации.

В этой статье намечен широкий, систематический и окончательно недискриминационный подход к контролю за тритием на международном уровне и проведен анализ охватывающих мер против как горизонтального, так и вертикального распространения. Он направлен на окончательную ликвидацию

любого применения трития и контроль за действующими и потенциальными гражданскими установками для производства трития и его запасами. На основе структуры режима ядерного нераспространения предложены два набора обязательств для достижения поставленных целей в зависимости от состояния ядерного оружия государств.

Для противостояния горизонтальному распространению предложена международная система контроля за тритием (МСКТ), контролирующая действующие и потенциальные гражданские установки для производства трития и его запасы. Вообще говоря, как отмечалось ранее и более подробно обсуждается в приложении Б, процедуры контроля отсутствия производства трития на гражданских установках могут быть основаны на текущих ядерных гарантиях МАГАТЭ. Учет трития уже применяется для задач радиационной защиты, он технически проверен и возможности учета соответствуют требованиям ядерных гарантий. В некоторых случаях могут быть введены дополнительные меры, и некоторые из них, в свою очередь, смогут повысить эффективность ядерных гарантий.

Как показано в приложении Б, специфические процедуры для верификации непрерывности трития должны быть введены на ограниченном количестве установок (не более, чем на 50 во всем мире, в зависимости от членства), на которых не используется никаких других ядерных материалов, кроме трития. Однако, поскольку цели, задачи и процедуры верификации очень похожи на те, которые требуются для ядерных гарантий МАГАТЭ, "естественным решением" будет передача "мандата на контроль за тритием" этому агентству.

Для дополнения МСКТ и расширения контроля за тритием на существующие арсеналы ядерного оружия в статье предлагается включить тритий в общее прекращение производства расщепляющихся материалов для оружия (ИП). Такое включение позволит также эффективно решить проблемы, возникающие в верификации прекращения производства расщепляющихся материалов из-за продолжения производства трития. В ИП поставки свежего трития для целей ядерного оружия должны быть остановлены верифицируемым образом для поддержки продолжения процесса ядерного разоружения.

С точки зрения организации и финансирования при добавлении трития в прекращение производства расщепляющихся материалов исключительных затруднений не будет. Поскольку производство трития для целей ядерного оружия не будет, верификация должна в основном сосредоточиться на подтверждении отсутствия производства на установках военного производства, которые либо демонтированы, либо находятся в "холодном резерве". Хотя поодиночке и ИП, и МСКТ усилят режим ядерного нераспространения, в статье рекомендуется ввести оба взаимосвязанных инструмента одновременно и на равных правах. Если они будут введены, то они будут контролировать только гражданские источники трития. В сравнении с существующим контролем предлагаемая система контроля за тритием будет также более сбалансированной по отношению к вертикальному и горизонтальному измерениям, и, следовательно, менее дискриминационной.

БЛАГОДАРНОСТИ

Это исследование проводилось в группе IANUS и финансировалось Центром междисциплинарных исследований по технологии (ZIT) Технического университета в Дармштадте (Германия) и фондом Фольксваген. Авторы выражают особую благодарность Эгберту Канкеляйту, который предоставил плодотворную рабочую обстановку в Институте ядерной физики в Техническом университете в Дармштадте.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. С режимно-теоретической точки зрения международный режим состоит из четырех элементов - принципов, норм, правил и процедур принятия решений. Принципы и нормы составляют нормативную конструкцию режима, в то время как правила и процедуры принятия решений образуют его субструктуру. Международный режим определяется этими четырьмя элементами, вокруг которых сходятся ожидания участников в заданной области. См. Krasner, Stephen D., "Structural Causes and Regime Consequences: Regimes as Intervening Variables", in Krasner, Stephen D. (ed.), "International Regimes", Ithaca, p. 1 (1983).
2. В то время как инструменты против горизонтального распространения были преобразованы в правила и процедуры принятия решений, и в 50-х, 60-х и 70-х гг. были созданы несколько инструментов (например, Договор о нераспространении, МАГАТЭ, Группа ядерных поставщиков, договоры Тлателолко и Раротонга), инструментами против вертикального распространения очень сильно пренебрегалось вплоть до конца 80-х гг.
3. Кроме того, в конце 70-х гг. Южная Африка тайно приобрела у Израиля около 30 граммов трития.
4. Тем не менее, количества, используемые в гражданских целях, пренебрежимо малы по сравнению с военными запасами (менее одного процента).
5. Bundesgerichtshof, January 31, 2StR 250/91 (1992).
6. В качестве примера можно привести потребности трех западноевропейских лабораторий УТС, которые превышают полные текущие запасы в гражданских лабораториях во всем мире. См. ниже.
7. Общие военные запасы оцениваются в 110 - 170 кг. Гражданские запасы лежат в пределах от 23 до 28 кг и большая их часть (от 2/3 до 3/4) остается невыделенной, что упрощает меры по контролю. Сюда не включено количество трития в атмосфере и гидросфере. См. табл. 4, в которой приводятся полные мировые запасы произведенного трития (целенаправленно и побочно), выделенного и способного к выделению трития, и общие производственные возможности.
8. Colschen, L.C. and M.B. Kalinowski, "Can International Safeguards be Expanded to Cover Tritium?", IAEA-SM-333/27, Proc. IAEA Volume, pp. 493 - 503, Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994).
9. МАГАТЭ организовала и опубликовала многочисленные исследования по безопасному обращению и управлению безопасными отходами трития.
10. Чем более увеличивается важность этого аргумента, тем менее эффективными представляются гарантии Договора о нераспространении. Очевидная неэффективность этих гарантий была явно продемонстрирована еще раз последними примерами в Ираке и Северной Корее. Тем не менее, контроль за тритием должен быть нацелен на предотвращение экспорта трития в страны-участницы Договора о нераспространении, рассматриваемые как фактические ядерные державы.
11. Группа ядерных поставщиков включила тритий и тритиевую технологию в свой список двойного использования с апреля 1992 г. Однако этот инструмент не формален и не предусматривает правовых обязательств. Второй инструмент заключается в соглашении между Ка-

- надой и региональной организацией Евратомом. По этому соглашению Евратом получил мандат на контроль поставок трития из Канады в страны-члены Евратома и его конечного использования в гражданских программах УТС. Этот подход ограничен как по числу включенных стран-производителей и стран-потребителей, так и по задачам возможного использования. Третьим инструментом был Консультационный комитет по многостороннему экспортному контролю (Коком), прекративший свое существование 31 марта 1994 г. и включивший тритий в свой список с 1986 г. См. также раздел "Текущий контроль за тритием".
12. Термин "вертикальное распространение", используемый в этой статье, охватывает три различных стадии - ограничение, остановку и обращение процесса вертикального распространения, т.е. ядерное разоружение. Основное внимание в этой статье уделяется именно ядерному разоружению.
 13. Эта скорость соответствует радиоактивному распаду трития. Nuclear Control Institute (NCI), American Academy of Arts and Sciences (AAAS), "The Tritium Factor", Washington/Cambridge (1988). См. также Mark, J.C., et al., "The Tritium Factor as a Forcing Function in Nuclear Arms Reduction Talks", Science, vol. 241, p. 1166 (1988); Sutcliffe, W.G., "Limits on Nuclear Materials for Arms Reduction - Complexities and Uncertainties", Science, vol. 241, p. 1166 (1988).
 14. См. Приложение А.
 15. Kalinowski, M.B., L.C. Colschen and P.M. Leventhal, "Why and How Tritium Should be Considered Under a Verified Cutoff of Fissile Materials Production", Proc. of the 42nd Pugwash Conference on Science and World Affairs in Berlin (September 11 - 17), Volume I, pp. 473 - 480, Singapore et al. (1994).
 16. Colschen, L.C., M.B. Kalinowski and J. Vydra, "Comparative Documentation. National Regulations of Accounting for and Control of Tritium", IANUS-2/1991, Darmstadt (1991).
 17. Указанные пределы приводятся в гигабеккерелях ($1 \text{ ГБк} = 10^9 \text{ Бк}$). Для сравнения, активность одного грамма трития примерно равна $3,6 \cdot 10^{14} \text{ Бк} = 360000 \text{ ГБк}$. Некоторые из приведенных в табл. 1 значений вполне могут измениться в ближайшее время, поскольку контролирующие органы шести из двадцати государств во время опроса заявили, что их экспортные ограничения находятся в процессе изменения, а еще четыре страны указали, что они полагают, что ограничения по тритию неадекватны. См. также Colschen, L.C., M.B. Kalinowski and J. Vydra, "Comparative Documentation. National Regulations of Accounting for and Control of Tritium", IANUS-2/1991, Darmstadt (1991).
 18. Согласно ограничениям КоКом, лицензии на экспорт требуются для оборудования, специально предназначенного для производства или извлечения трития, и для трития или смесей, в которых отношение трития к водороду превышает 1 к 1000, с активностью более 3700 ГБк. Исключение делается для определенных коммерческих продуктов, содержащих незначительные количества трития, например, светящихся красок или трубок ускорения ионов.
 19. Оставшиеся шесть членов КоКом не включены в обзор Colschen, L.C., M.B. Kalinowski and J. Vydra, "Comparative Documentation. National Regulations of Accounting for and Control of Tritium", IANUS-2/1991, Darmstadt (1991).
 20. Процесс политической реформы может привести к новому контролирующему органу, можно, с частично либерализованным контролем за экспортом. Скорее всего, новые правила контроля будут направлены на так называемые "страны-негодяи", такие, как Иран, Ирак или Северная Корея. Кроме того, согласно Линну Дэвису, помощнику государственного секретаря США по государственной безопасности, новый контрольный орган не будет запрещать своему члену конкретный экспорт, и он будет иметь консультативный характер. См. Arms Control Reporter, "The End of CoCom - April 1", p. 250. B.30, idds 5-94, Cambridge (1994).
 21. Report of Main Committee II of the 4th NPT Review Conference, Document NPT/CONF.IV/MC.II/1 (September 10, 1990).
 22. Группа ядерных поставщиков бездействовала с конца 70-х гг. и возобновила работу по инициативе США после второй войны в Персидском заливе. К этому инструменту многостороннего экспортного контроля присоединились 27 стран. Это означает, что большая часть ядерных экспортеров (но не все) присоединились к этому неформальному форуму.
 23. Страны обязаны информировать других участников Группы ядерных поставщиков при запрете экспорта.
 24. Colschen, L.C., M.B. Kalinowski and J. Vydra, "Comparative Documentation. National Regulations of Accounting for and Control of Tritium", IANUS-2/1991, Darmstadt (1991).
 25. Частное сообщение из Госдепартамента США, 31 марта 1992 г.
 26. Частное сообщение из Министерства энергетики США, 24 марта 1992 г.
 27. Miller M., and A. Cohen, "Defusing the Nuclear Mideast", New York Times, p. op-ed (May 30, 1991).
 28. United Nations, "Establishment of a Nuclear-Weapons-Free Zone in the Region of Middle East", A/45/435 (October 10, 1990).
 29. United Nations, "Establishment of a Nuclear-Weapons-Free Zone in the Region of Middle East", A/45/435 (October 10, 1990), paragraphs 116 and 117.
 30. Тритий извлекается из тяжелой воды для уменьшения экспозиционной радиационной дозы и излучения. Его потенциальное коммерческое значение было осознано только в середине 80-х гг. Цифры, цитируемые в этом разделе, относятся к 31 декабря 1992 г., если не указана другая дата.
 31. Sheppard R., "Tritium Industry May Net \$30 Million a Year", Globe and Mail, p. B5 (May 11, 1988).
 32. Fusion Canada - Bulletin of the National Fusion Program, Issue 21 (August 1993).
 33. В исследовании, заказанном в Онтарио еще в 1985 г., рассматривались опасности распространения от потенциальных поставок трития "Онтарио Хайдро". Canadian Environmental Law Association, "The Potential Use, Sale and Export of Tritium by Ontario", Report of The Tritium Issues Working Group, Toronto (February, 1986)
 34. Частное сообщение AECB Canada (May 6, 1992).
 35. Дальнейшие детали см. в Colschen, L.C., M.B. Kalinowski and J. Vydra, "Comparative Documentation. National Regulations of Accounting for and Control of Tritium", IANUS-2/1991, Darmstadt (1991).
 36. Euratom and Canada, "Exchange of letters between the European Atomic Energy Community (Euratom) and the Government of Canada amending the Agreement between the European Atomic Energy Community and the Government of Canada for cooperation in the peaceful

- uses of atomic energy of 6 October 1959", EL/CEEA/CDN/GER (May, 1991). Перепечатано в Official Journal of the European Communities, No. C 215/5 (August 17, 1991).
37. Для обязательств по поставке трития на основу было взято заключенное ранее расширение соглашения по поставке тяжелой воды. После заключения нового соглашения была организована объединенная техническая рабочая группа для выработки модальностей контроля за тритием и методов учета. В объединенной рабочей группе Канада была представлена Советом по контролю над атомной энергией, а Европа, в числе прочих, Евратомом.
 38. Molgat, Daniel, "Letter from Government of Canada to Euratom", Official Journal of the European Communities, No. C 215/5, pp. 217 - 218 (August 17, 1991).
 39. U.S. General Accounting Office, "Control Over the Commercial Sale and Export of Tritium Can Be Improved", GAO/RCED-91-90 (March, 1991); см. также Hibbs M., "Non-Proliferation Bill Introduced to Restrict Export of Dual-Use Items", Nuclear Fuel, p. 16 (July 8, 1991); Zuercher, R.R., "NRC, State May Seek Written Assurance Targeting Retransfer of U.S. Tritium", Nuclear Fuel, p. 16 (August 5, 1991).
 40. Die Atomwirtschaft, "Mehr Tritium verfuegbar", (June 1959), p. 268.
 41. Тритий в первую очередь предпочтителен как чистый бета-излучатель для замены радия в автономных источниках света, в которых гамма-излучение вызывает неприемлемые дозы радиации.
 42. Вероятно, наилучшим доступным обзором международной торговли тритием является Colschen, L.C., M.B. Kalinowski and J. Yydra, "Comparative Documentation. National Regulations of Accounting for and Control of Tritium", IANUS-2/1991, Darmstadt (1991). В этом документе приведены данные по импорту в 14 стран, включая крупнейших импортеров (Канаду, Швейцарию и Великобританию), для различных периодов 80-х гг. Средний годовой импорт в эти стран равен 78000 ТБк, или примерно 217 граммам. Один и тот же тритий может учитываться несколько раз, например, из-за реэкспорта в форме светящейся краски. В среднем, ежегодная поставка свежего трития в газообразном состоянии из США составляет 58000 ТБк.
 43. Извлечение трития из тяжелой воды в реакторе с высоким потоком в Институте Лауэ-Ланжевена в Гренобле может выделять до 16 граммов в год. Он работал с 1972 г. и в настоящее время законсервирован.
 44. Частная компания "Алкор Текнолоджиз" в Санкт-Петербурге рассматривает массовый экспорт трития. Военное предприятие в Озерске (бывший Челябинск-65) вместе с государственным предприятием Радиевый институт в Санкт-Петербурге планируют производить светящиеся знаки с тритием.
 45. Даже когда термоядерный энергетический реактор начнет работу, он будет содержать постоянный запас в несколько килограммов и сжигать примерно по 180 килограммов на каждый гигавайт-год.
 46. Эти оценочные величины включают не только количество трития, непосредственно находящееся в боеголовке, но и ее вклад в рабочие запасы в производственном процессе и в процессе замены.
 47. Детальное описание физических принципов см. в Schaper, A., "Kernwaffen der ersten und zweiten Generation: Forschung und Entwicklung", in E. Mueller, G. Neunck, "Ruestungsmo- dernisierung und Ruestungskontrolle", Baden-Baden, pp. 71 - 90 (1991).
 48. Hansen, C., U.S. Nuclear Weapons. A Secret History. Arlington, Texas (1988).
 49. В 1953 г. в СССР было испытано устройство "Джо-4", одноступенчатое оружие деления с ускорением с мощностью в районе 400 кт. См. также Cochran, T.B., and R.S. Norris, "Russian/Soviet Nuclear Warhead Production, Nuclear Weapons Databook", Working Paper NWD 93-1, Washington (1993).
 50. Детали см. в Colschen, L.C., and M.B. Kalinowski, "Die Kontrolle der militaerischen Nutzung von Tritium", IANUS-1, Darmstadt (1991).
 51. В эту таблицу включены также все реакторы для производства плутония, поскольку производство плутония может быть совмещено с производством трития в любом соотношении от 0 до 100 процентов.
 52. См. в Arms Control Today, "U.S. Tritium Reactor to Remain Closed", (May, 1993), p. 27.
 53. Программы оборонных и энергетических исследований Министерства энергетики США предполагают в начале 1995 г. объединить усилия для разработки импульсного источника нейтронов с ускорителем частиц для удовлетворения потребностей ядерного оружия в тритии и для изучения рассеяния нейтронов в веществе и других фундаментальных исследований. Однако, неясно, будет ли источник, построенный для производства трития, пригоден для изучения рассеяния нейтронов. Первая задача требует большого количества нейтронов на сравнительно большой площади, в то время как последняя задача требует более сфокусированного пучка нейтронов.
 54. Оценка полного военного запаса трития в США сделана в Cochran, T.B., et al., "Nuclear Weapons Databook, Volume 3: U.S. Nuclear Warhead Facilities Profiles", Cambridge (1987). Приведенная здесь цифра является экстраполяцией их оценки с учетом последующего производства и радиоактивного распада.
 55. Norris, R.S., and W.M. Arkin, "U.S. Nuclear Weapons Stockpile", (July, 1994), Bulletin of Atomic Scientists, pp. 61 - 63 (July/August, 1994).
 56. Согласно текущей позиции США, соответствующей датой может быть 2012 год (см. ниже).
 57. Cochran, T.B., and R.S. Norris, "Russian/Soviet Nuclear Warhead Production, Nuclear Weapons Databook", Working Paper NWD 93-1, pp. 45 - 47, Washington (1993).
 58. Cochran, T.B., and R.S. Norris, "Russian/Soviet Nuclear Warhead Production, Nuclear Weapons Databook", Working Paper NWD 93-1, p. 43, Washington (1993).
 59. Cochran, T.B., and R.S. Norris, "Russian/Soviet Nuclear Warhead Production, Nuclear Weapons Databook", Working Paper NWD 93-1, p. 154, Washington (1993), в предположении, что среднее производство трития составляло 7,3 килограмма в год до 1984 г. и 3,4 килограмма в год в 1985 - 1986 гг.
 60. Joint Publications Research Service (JPRS), "Selections from China Today: Nuclear Industry", Science and Technology, China, Report JPRS-CST-88-002, Washington (1988).
 61. Cochran, T.B., et al., "Nuclear Weapons Databook, Volume 3: U.S. Nuclear Warhead Facilities Profiles", Cambridge (1987).
 62. Commissariat a l'Energy Atomique (CEA), "Rapport Annuel" (1982).
 63. Hugony P., H. Sauvage and E. Roth, "La Production de Tritium en France", Bulletin d'Information Scientifique et Technique, No. 178, pp. 3 - 17 (February, 1973).
 64. Barrilot, B., "Fabrication des Armes Nucleaires

- en France", Centre de Documentation et de Recherche sur la Paix et les Conflits, Lyon (1991).
65. Gsponer, A., "La Bombe a Neutrons", La Recherche, v. 158, p. 1131 (September, 1984).
 66. Barrilot, B., "Fabrication des Armes Nucleaires en France", Centre de Documentation et de Recherche sur la Paix et les Conflits, Lyon (1991).
 67. Albright, D., and T. Zamora Colina, "India, Pakistan's Nuclear Weapons: All Pieces in Place", Bulletin of Atomic Scientists, v. 45, No. 5, pp. 20 - 26 (1989).
 68. Cochran, T.B., and R.S. Norris, "Russian/Soviet Nuclear Warhead Production, Nuclear Weapons Databook", Working Paper NWD 93-1, Washington (1993).
 69. National Resources Defence Council (NDRC), "Kyshtym Complex and Soviet Nuclear Materials Production" Fact Sheet, Washington (1989).
 70. Cochran, T.B., et al., "Nuclear Weapons Databook, Volume 4: Soviet Union's Nuclear Weapons", Cambridge (1989).
 71. Cochran, T.B., and R.S. Norris, "Russian/Soviet Nuclear Warhead Production, Nuclear Weapons Databook", Working Paper NWD 93-1, Washington (1993).
 72. Cochran, T.B., et al., "Nuclear Weapons Databook, Volume 3: U.S. Nuclear Warhead Facilities Profiles", Cambridge (1987).
 73. Cochran, T.B., et al., "Nuclear Weapons Databook, Volume 3: U.S. Nuclear Warhead Facilities Profiles", Cambridge (1987).
 74. Ragheb, M.M.H., "Implementation Considerations of Coupling Dedicated Fissile and Fusile Production Fusion and Fission Reactors", Atomkernenergie/Kerntechnik, v. 38, pp. 85 - 90 (1981).
 75. Цитируется в Arms Control Reporter 10, 6 (1991) 602.B.197.
 76. Полагают, что этот завод является небольшим опытным заводом, строившимся в 1989 г. См. также Albright, D., and T. Zamora Colina, "India, Pakistan's Nuclear Weapons: All Pieces in Place", Bulletin of Atomic Scientists, v. 45, No. 5, pp. 20 - 26 (1989). Однако, если все индийские реакторы работают с фактором скважности в 70 процентов, в их тяжелой воде каждый год будет производиться от 150 до 230 граммов в год.
 77. См. PPNN Newsbrief, first quarter 1994, p. r2.
 78. Отчет седьмой инспекции UNSCOM в Ираке, 1991. Содержание лития-6 в природном литии равно 7,5 процента.
 79. См. PPNN Newsbrief, first quarter 1994, p. 12.
 80. Albright, David, "South Africa's Secret Nuclear Weapons", Institute for Science and International Security Report (May, 1994).
 81. Albright, David, "South Africa's Secret Nuclear Weapons", Institute for Science and International Security Report (May, 1994).
 82. Более подробный обзор более чем 50 различных путей приведен в Kalinowski, M.B., "Monte Carlo Simulation of Neutron Coincidence Collar Response to Burnable Neutron Poisons in PWR Fuel Assemblies", Paper IAEA-SM-33/29, Proc. IAEA Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994), Volume 2, pp. 434 - 498.
 83. Поскольку примеси ртути приводят к окраске лития в красный цвет, продукт получил в бывшем Советском Союзе кодовое название "красная ртуть". См. также Hibbs, M., "Red Mercury' is Lithium-6, Russian Weaponsmiths Say", Nucleonics Week (July 22, 1993). Говорят также и о других объяснениях "красной ртути".
 84. CFFTP, "Tritium Supply for Near-Term Fusion Devices", CFFTP-G-88024 (May, 1988).
 85. Ragheb, M.M.H., "Implementation Considerations of Coupling Dedicated Fissile and Fusile Production Fusion and Fission Reactors", Atomkernenergie/Kerntechnik, v. 38, pp. 85 - 90 (1981).
 86. CFFTP, "Tritium Supply for Near-Term Fusion Devices", CFFTP-G-88024 (May, 1988).
 87. Lu, M.S., R.B. Zhu and M. Todosov, "Unreported Plutonium Production in Light-Water Reactors", ISPO-282, TSO-88-1, Brookhaven National Laboratory (February, 1988).
 88. Benedict, M., Th.H. Pigford and H.W. Levi, "Nuclear Chemical Engineering", 2nd edition (1984).
 89. Ragheb, M.M.H., "Implementation Considerations of Coupling Dedicated Fissile and Fusile Production Fusion and Fission Reactors", Atomkernenergie/Kerntechnik, v. 38, pp. 85 - 90 (1981).
 90. Osborne, R.V., "Hazard and Protection from Tritium Produced in Experimental Reactor Loop", Health Physics, v. 36, pp. 167 - 174 (1979).
 91. Sokolski, H.D., Testimony Provided in Hearing, GPO (1982), Governmental Printing Office (GPO), "U.S. Policy on Export of Helium-3 and Other Nuclear Materials and Technology", before the Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Government Processes of the Committee on Governmental Affairs United States Senate, 97th Congress, May 13, 1982, United States, Washington (1982).
 92. Philips, J.E. and C.E. Easterly, "Sources of Tritium", Oak Ridge National Laboratory, ORNL TM-6402 (1981).
 93. Ragheb, M.M.H., "Implementation Considerations of Coupling Dedicated Fissile and Fusile Production Fusion and Fission Reactors", Atomkernenergie/Kerntechnik, v. 38, pp. 85 - 90 (1981).
 94. Benedict, M., Th.H. Pigford and H.W. Levi, "Nuclear Chemical Engineering", 2nd edition (1984).
 95. Lu, M.S., R.B. Zhu and M. Todosov, "Unreported Plutonium Production in Light-Water Reactors", ISPO-282, TSO-88-1, Brookhaven National Laboratory (February, 1988).
 96. Ragheb, M.M.H., "Implementation Considerations of Coupling Dedicated Fissile and Fusile Production Fusion and Fission Reactors", Atomkernenergie/Kerntechnik, v. 38, pp. 85 - 90 (1981).
 97. IAEA, "Handling of Tritium-Bearing Wastes", Technical Report Series No. 203, Vienna (1981).
 98. Philips, J.E. and C.E. Easterly, "Sources of Tritium", Oak Ridge National Laboratory, ORNL TM-6402 (1981).
 99. Philips, J.E. and C.E. Easterly, "Sources of Tritium", Oak Ridge National Laboratory, ORNL TM-6402 (1981).
 100. IAEA, "Handling of Tritium-Bearing Wastes", Technical Report Series No. 203, Vienna (1981).
 101. См., например, Bray, L.A., "Thermal Outgassing of Irradiated Fuel", ANS Transactions, v. 39, pp. 219 - 220 (1981), где был достигнут выход трития в 100 процентов при 1500 °C за 6 часов. Согласно Campbell, D.O. and W.L. Pattison, ANS Transactions, v. 39, p. 219 (1981), для выхода 99 процентов трития при 1000 °C нужно 24 часа.
 102. Cochran, T.B., et al., "Nuclear Weapons Databook, Volume 3: U.S. Nuclear Warhead Facilities Profiles", Cambridge (1987).
 103. Cochran, T.B., and R.S. Norris, "Russian/Soviet Nuclear Warhead Production, Nuclear Weapons Databook", Working Paper NWD 93-1, Washington (1993).
 104. Thomas, G.F. and S.J. Bereten, "Enhanced Tritium Production for Fusion Reactors via ³He (n,p) ³H in the Heavy Water Moderator of a

- Candu Reactor", J. Fusion Energy, v. 4, pp. 27 - 41 (1985).
105. Osborne, R.V., "Hazard and Protection from Tritium Produced in Experimental Reactor Loop", Health Physics, v. 36, pp. 167 - 174 (1979).
 106. Sokolski, H.D., Testimony Provided in Hearing, GPO (1982), Governmental Printing Office (GPO), "U.S. Policy on Export of Helium-3 and Other Nuclear Materials and Technology", before the Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Government Processes of the Committee on Governmental Affairs United States Senatem 97th Congress, May 13, 1982, United States, Washington (1982).
 107. Данные приведены в Philips, J.E. and C.E. Easterly, "Sources of Tritium", Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-6402 (1981). Предполагается, что эффективность равна 40 процентам.
 108. CFFTP, "Tritium Supply for Near-Term Fusion Devices", CFFTP-G-88024 (May, 1988).
 109. Colschen, L., "Die Systematische Einfuhrung der Tritium Kontrolle auf Internationaler Ebene als Instrument der Nichtbreitungsregimes fur Kernwaffen unter Berucksichtigung Regime-theoretischer Uberlegungen - Voraussetzungen, Moglichkeiten und Perspektiven." Ph.D. thesis to be submitted to Free University Berlin (1995). См. также Colschen, L.C. and M.B. Kalinowski, "Can International Safeguards be Expanded to Cover Tritium?", IAEA-SM-333/27, Proc. IAEA Volume, pp. 493 - 503, Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994).
 110. В этой статье не обсуждаются типичные проблемы, связанные с институциональными процессами переговоров вообще, и с инструментами нераспространения в частности (например, тактические соображения участников, внутривластные факторы, связи с внешней политикой).
 111. В концепции "размытой взаимности" определение эквивалентности сознательно поддерживается неоднозначным. Игроки скорее являются группами или коалициями, чем определенными участниками, а последовательность событий ограничена не очень узко. Это делается для разделения с концепцией "специфической взаимности". Последняя относится к ситуациям, в которых конкретные партнеры обмениваются позициями с эквивалентной ценностью в строго определенной последовательности, как отражено в некоторых элементах самого режима, так, как в СНВ-1 и СНВ-2. См. также Keohane, Robert O., "Reciprocity in International Relations", International Organization, v. 40 (1), p. 1 (Winter, 1986).
 112. 4 декабря 1961 года Генеральная ассамблея ООН единогласно приняла резолюцию 1665 (XVI) "О предотвращении широкого распространения ядерного оружия". Она была выдвинута Ирландией и ее обычно называют "ирландской резолюцией". Одна из наиболее важных особенностей этой резолюции является то, что она не ставит горизонтального нераспространения в зависимость от мер по предотвращению вертикального распространения. Фактически в этой резолюции горизонтальное нераспространение от вертикального, поскольку последнее вообще в ней не упоминается. Эволюция режима ядерного нераспространения, отражающая это отношение между горизонтальным и вертикальным нераспространением, выраженное резолюцией 1665. United Nations - Department of Political and Security Council Affairs: "The United Nations and Disarmament 1945-1970", New York (1970).
 113. Напротив, изменения в нормативной базе должны отражать изменения режима. В этом случае необходимо поставить под вопрос установленную структуру, которая в конце концов может привести к разрушению всего режима. Только тогда, когда страны-участницы согласятся с новыми принципами и нормами, новый режим ядерного распространения может заменить старый.
 114. Конференция по разоружению является единственным многонациональным органом для переговоров по разоружению и контролю над вооружениями, в котором представлены государства всех районов мира.
 115. Department for Disarmament Affairs, "Disarmament Machinery", United Nations Fact Sheet No. 35, New York (May, 1984).
 116. Cochran, T.B., et al., Nuclear Weapons Data Book, Volume 2: U.S. Nuclear Warhead Production, Cambridge (1987).
 117. Weinstock, E. and A. Feinberg, "Verifying a Fissile Material Production Freeze in Declared Facilities with Special Emphasis on Remote Monitoring", in Tsipis, C., D. Hafemeister and Janeway (eds.), "Arms Control Verification: The Technologies the Make it Possible" (1986). См. также Thompson, G., "Verification of a Cutoff in the Production of Fissile Material", in Barnaby, F. (ed.) "A Handbook of Verification Procedures", New York (1990); Berkhout, F., O. Bukharin, H.A. Feiveson, M. Miller, "A Cutoff in the Production of Fissile Material", International Security, v. 19, 3 (1994/95), pp. 167 - 202.
 118. В 1969 г. США отказались от требования инспекций для поиска в стране тайных предприятий. Вместо этого они объявили, что инспекции объявленных предприятий МАГАТЭ должны рассматриваться как достаточные. Причиной этого изменения стало весьма успешное развитие разведывательных спутников, обеспечившее США уверенность в том, что они смогут обнаружить тайные предприятия национальными техническими средствами.
 119. Richter, R., et al., "Analysis of LANDSAT TM Images of Chernobyl", Int. J. Remote Sensing, v. 7, pp. 1859 - 67 (1986). См. также v. Hippel, F. and B.G. Levi, "Controlling Nuclear Weapons at the Source: Verification of a Cutoff in the Production of Plutonium and Highly Enriched Uranium for Nuclear Weapons", in Tsipis, C., D. Hafemeister and Janeway (eds.), "Arms Control Verification: The Technologies the Make it Possible" (1986).
 120. ИП должно включать в себя сложную структуру правил, относящихся к прекращению производства плутония, высокообогащенного урана и трития. Указанные здесь правила относятся только к прекращению производства трития. Некоторые из этих правил применимы также к плутонию и высокообогащенному урану. Другие, не указанные в этой статье, применимы только к плутонию и высокообогащенному урану, но не к тритию. Например, плутоний и высокообогащенный уран из демонтируемых боеголовок должны помещаться в хранилища под международным контролем, откуда они могут быть взяты на переработку. Если к программе оружия не будет добавляться нового трития, то тритиевые запасы страны-участницы договора будут уменьшаться на 5,5 процента в год. Другим подходом может быть полное исключение трития из ядерных арсеналов для достижения мгновенного эффекта значительного уменьшения мощности, которое обсуждается в приложении.
 121. Международно признанного определения этого состояния, в котором для повторного запуска

- реактора потребуется несколько месяцев, нет. Поэтому такое определение должно входить в ИП. Оно может, например, включать: 1) удаление топлива и замедлителя с площадки; 2) ограничение численности персонала и функционирующих систем до минимума, необходимого для поддержания инфраструктуры; 3) возможного проведения регулярных проверок безопасности и определения перечня проверок при повторном запуске; 4) перевода некоторых блоков устройства в более сильный режим останова (например, запечатывание дверей или закрытие трубопроводов).
122. Возможность ядерного разоружения исключительно за счет ИП, т.е. с использованием распада трития как "силового фактора" для обращения вертикального распространения или для достижения предела мощности отличается от нашего предложения. Она была отвергнута по серьезным причинам и не предлагается авторами! Nuclear Control Institute (NCI), American Academy of Arts and Sciences (AAAS), "The Tritium Factor", Washington /Cambridge (1988). См. также Mark, J.C., et al., "The Tritium Factor as a Forcing Function in Nuclear Arms Reduction Talks", *Science*, vol. 241, p. 1166 (1988).
 123. Срок для США был объяснен выше. Несмотря на недостаток конкретной информации, можно предположить, что у России ситуация будет более благоприятной, поскольку она производила тритий в течение более шести лет после закрытия последнего промышленного реактора в США.
 124. ИП должно гарантировать выигрыш времени посредством определенной задержки новой производственной деятельности.
 125. В случае ограниченного соглашения и возобновления военного производства трития после окончания и невозобновления соглашения, ИП по крайней мере позволит для будущих определяющих решений. Подробнее см. в разделе "Процедуры принятия решений".
 126. Это предусматривает, что Беларусь, Казахстан и Украина станут свободными от ядерного оружия, как это предусмотрено Лиссабонским протоколом.
 127. Если в текущем состоянии военных реакторов в России не произойдет больших изменений, то ее производственные мощности будут более доступными.
 128. v. Hippel, F. and B.G. Levi, "Controlling Nuclear Weapons at the Source: Verification of a Cutoff in the Production of Plutonium and Highly Enriched Uranium for Nuclear Weapons", in Tsipis, C., D. Hafemeister and Janeway (eds.), "Arms Control Verification: The Technologies the Make it Possible" (1986).
 129. Weiss, W., et al., "Mesoscale Transport of Kr-85 Originating from European Source", *Nucl. Inst. Meth.*, v. B17, pp. 571 - 574 (1986).
 130. Размеры изменений режима обсуждаются в Haggard, Stephan and Simmons A. Beth, "Theories of International Regimes", *International Organization*, v. 41 (3) (Summer, 1987).
 131. В настоящее время режим обходится с этими государствами так, как если бы они были неядерными государствами. Поэтому, прежде, чем это случится, статус этих государств должен быть переопределен, т.е. приспособлен к действительности.
 132. Возможное международное наблюдающее агентство должно создаваться как многонациональное, т.е. оно должно быть оборудовано разными типами датчиков. Оно должно быть способно решать различные верификационные задачи в области ядерного, бактериологического, химического и обычного оружия.
 133. До тех пор, пока будут существовать военные промышленные предприятия, они должны находиться под контролем ИП.
 134. Это должно включать также передачу трития к или между признанными ядерными державами. Следует подчеркнуть, что это правило выходит за рамки правил договора о нераспространении по отношению к передаче ядерных материалов.
 135. Это означает, в комбинации со следующим правилом, что экспорт трития требует "полномасштабных гарантий".
 136. Например, Министерство энергетики рассматривает эти требования как "чрезмерные" и неприемлемые с точки зрения политических, финансовых и организационных усилий. Позиция Канады в этом вопросе примерно такая же. Поскольку затраты на новое агентство будут "неразумно велики", канадские официальные представители предлагают "опираться на то, что уже есть", что указывает на МАГАТЭ. Частные сообщения во время совещания с официальными представителями канадского правительства и экспертами по тритию из "Онтарио Хайдро", Оттава, Канада, 5 мая 1992 года.
 137. Хороший анализ Договора о нераспространении и его недостатков представлен в книгах Fry, M.P., P. Keatinge and J. Rotblat, "Nuclear Non-Proliferation and the Non-Proliferation Treaty", New York, 1990; Snyder, J.C. and S.F. Wells, "Limiting Nuclear Proliferation", Cambridge, 1985.

ПРИЛОЖЕНИЕ А ВЛИЯНИЕ ПОЛНОГО ИСКЛЮЧЕНИЯ ТРИТИЯ НА ЯДЕРНЫЙ АРСЕНАЛ

Мартин Б. Калиновски

А.1. Введение

В этом приложении рассматриваются последствия нехватки или полного исключения трития из военных запасов. Мерой оценки принимается полная мощность ядерных арсеналов. Более адекватным параметром для оценки влияния трития на военный потенциал ядерного оружия должен быть фактор поражения, который принимает во внимание точность систем доставки. Ускорение тритием увеличивает мощность боеголовки, оставляя ее вес малым. Малый вес позволяет увеличить точность нацеливания. Поэтому в последующих оценках будет приниматься во внимание и вес боеголовок.

А.2. Связь между тритием и отношением веса и мощности ядерного оружия

Влияние полного исключения трития из ядерного оружия станет очевидным, если посмотреть на график корреляции мощности ядерного оружия и его веса (см. рис. А.1). Используемые данные представляют лучшие оценки из открытой литературы¹. Когда дается интервал данных, используется наименьшее значение веса и наибольшее значение мощности. При этом на графике показывается наибольшее практически достижимое значение отношения мощности к весу². Здесь представлены только американские ядерные боеголовки, поскольку оценки арсеналов других стран со сравнимой полнотой недоступны.

Для различия между ядерным оружием с три-

тием или без него используются разные символы. Имеется неопределенность относительно применения трития в некоторых термоядерных бомбах (B53, W78, W56). Символы группируются в три категории (деление, деление с ускорением³ и термоядерный синтез). Линия постоянного отношения мощности к весу в 0,1 кт/кг представляется границей между оружием деления снизу и термоядерным оружием сверху. Но это не соответствует теоретическому пределу отношения мощности к весу для оружия деления. При полном сгорании ядерного материала теоретический предел равен 17,5 кт/кг для урана-235 и 20 кт/кг для плутония-239. Соответствующая величина для чистой реакции синтеза равна 80 кт/кг. На практике эти теоретические пределы никогда не достигаются из-за того, что дополнительный вес нужен для химического взрывчатого вещества, корпуса бомбы и других частей оружия. Кроме того, полная эффективность сгорания ядерного топлива никогда не достигается.

Некоторые ядерные испытания большой мощности проводились без использования трития. Самым мощным испытанием в США с чистым делением было "Кинг Шот" (500 килотонн)⁴. Более того, в первых созданных образцах термоядерного оружия тритий не использовался. Это доказывает, что в принципе тритий необязателен для поджига термоядерного оружия. Однако, на практике в современных ускоренных ядерных боеголовках в двухступенчатом оружии тритий может быть необходим.

Ограничения систем доставки по весу и объему требуют, чтобы боеголовки были легкими. В

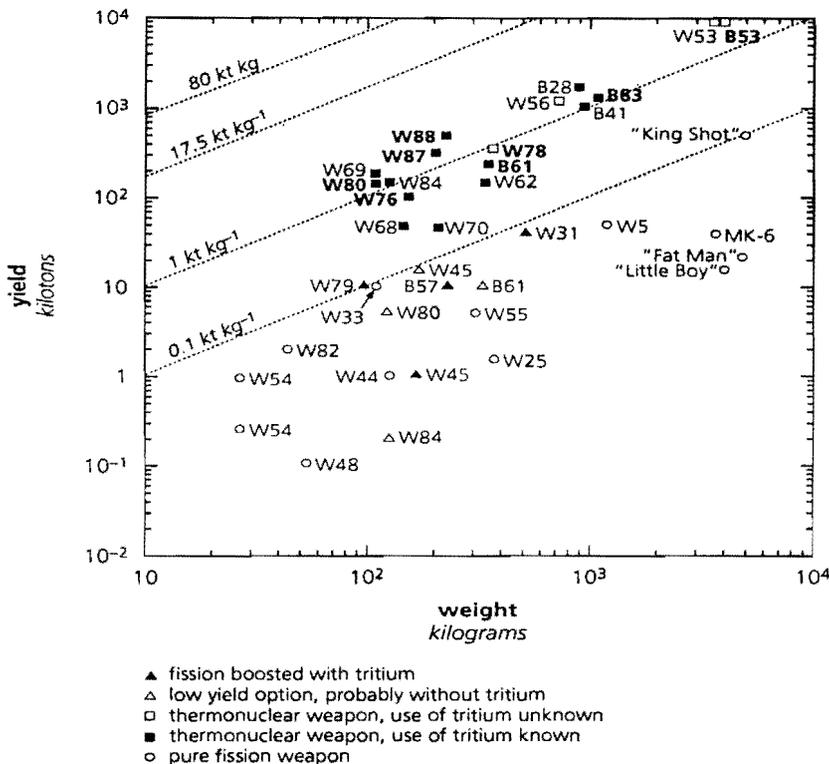


Рисунок А.1

Мощность и вес ядерных боеголовок США и некоторых взрывных устройств с применением трития. Жирным шрифтом отмечены боеголовки, находящиеся в настоящее время в ядерном арсенале, некоторые из снятых с вооружения боеголовок до сих пор не демонтированы. Некоторые находятся в "неактивном резерве" без конкретных планов по демонтажу. Хотя детали засекречены, можно предположить, что в "неактивном резерве" находятся 400 боеголовок W84 и боеголовки W62, W68, W69, W76 и W78. Сплошные символы соответствуют боеголовкам с тритием, пустые - без трития.

начале 50-х гг. это достигалось в основном за счет увеличения эффективности и уменьшения необходимого объема химического взрывчатого вещества. В середине 50-х гг. другое значительное сокращение веса термоядерного оружия было достигнуто заменой первичных компонент без ускорения диаметром в 1,5 метра на ускоренные первичные компоненты с диаметром 55 - 75 сантиметров. Можно предположить что термоядерное оружие, входящее сейчас в американский арсенал, поджигается ускоренным первичным компонентом.

Есть несколько способов изменения мощности в конкретной конструкции ядерного оружия, одним из которых является ускорение. Оно может увеличить мощность оружия с чистым делением или первичного компонента термоядерного оружия от 2 до 10 раз ("фактор ускорения")⁵. Для некоторых типов на диаграмме показано более одного значения мощности (W54, W45, B61, W80 и W84). Меньшие значения могут быть обусловлены меньшим количеством трития или полным извлечением ампулы с тритием. Однако, изменение мощности может быть связано с временными параметрами или с интенсивностью внешнего источника нейтронов, инициирующего цепную реакцию. В некоторых конструкциях оружия (в основном, в старых) возможно извлечение компонент из расщепляющихся материалов и замена его на компоненты других размеров для получения различных мощностей.

Поэтому нет простого правила оценки уменьшения максимальной мощности оружия с ускорением при извлечении трития. Даже если известен фактор ускорения, фактор уменьшения останется неизвестным, поскольку он может зависеть не только от извлечения трития. Действия с тритием и без него могут оказаться оптимальными при разных конфигурациях и геометрии компонентов, и временных последовательностях взрыва.

При оценке влияния трития на мощность следует отметить, что мощность ускоренного оружия деления или ускоренного первичного компонента меняется с временем хранения. Это связано с радиоактивным распадом трития и с одновременным увеличением количества его продукта распада, гелия-3, который является сильным поглотителем нейтронов. Однако, это, вероятно, не окажет существенного влияния на мощность вторичного компонента термоядерного оружия, если только первичная компонента достаточно сильна для поджига реакции синтеза. Начальное содержание трития всегда достаточно велико для того, чтобы допустить его распад в течение нескольких лет.

Критический вопрос состоит в том, будет ли первичная компонента без трития иметь достаточно энергии для того, чтобы поджечь ступень синтеза. Если нет, то мощность всех термоядерных устройств не будет превышать мощности первичного компонента без ускорения, т.е. около 1 килотонны или даже 0,4 килотонны для миниатюризованных первичных компонент⁶. Это весьма вероятно и поэтому не будет недооценкой предположить, что мощность термоядерного оружия уменьшится примерно в 100 раз, если тритий будет извлечен, и не произойдет изменений в конструкции для компенсации этого.

А.3. Следствия уменьшения мощности от полного извлечения трития

Оценка влияния полного извлечения трития из американского ядерного арсенала основана на следующих предположениях, которые кажутся разумными, но не могут быть доказаны автором:

- В современном ядерном арсенале остались только термоядерные двухступенчатые боеголовки с ускоренными тритием первичными

компонентами.

- В отсутствие трития первичная компонента термоядерного оружия не будет иметь достаточной энергии для поджига ступени деления. Поэтому можно предположить уменьшение мощности на два порядка величины при извлечении трития. Мощность первичных компонент без ускорения не превышает 10 килотонн.
- Замены для трития нет. В ссылке 133 основного текста отмечается, что "для ускорения рассматривались и другие изотопы, кроме трития, например, гелий-3, но их использование невозможно при современном состоянии технологии оружия".

В табл. А.1 приведена иллюстрация качественного эффекта извлечения трития из американского ядерного арсенала. Число боеголовок умножалось на мощность, и все мощности складывались для получения общего результата. Это было сделано для верхней и нижней границ заданного интервала мощностей, так же, как и в случае извлечения трития. В последнем случае была сделана грубая оценка уменьшением верхнего предела мощности термоядерного оружия в сто раз, но не менее, чем до 10 килотонн. Полные мощности представлены для четырех вариантов:

- современного арсенала США;
- будущего арсенала после снятия с вооружения B53, W62 и W78;
- предварительным оценкам арсенала после СНВ-II;
- ядерного арсенала после дальнейших глубоких сокращений до 500 боеголовок.

В соответствии с этими оценками, даже после СНВ-II полная мощность (ее верхний предел) уменьшится только примерно в 2 раза, в то время как извлечение трития немедленно сократит полную мощность на два порядка величины. Даже запас в 500 боеголовок с тритием будет иметь полную мощность в десять раз большую текущих запасов после плановых сокращений и извлечения трития (см. табл. А.1).

Для сравнения, весовой предел, установленный в интервале от 400 до 1000 килограммов, приведет к исключению стратегических авиабомб большой мощности и может сократить полную мощность (ее верхний предел) американского арсенала на треть. Военная значимость конкретной ядерной боеголовки без трития уменьшится сильнее, чем ее мощность. Присвоенная боеголовке военная задача не может быть выполнена, если фактор поражения, т.е. функция мощности и точности доставки, будет слишком мал для решения поставленной задачи, например, для уничтожения с определенной вероятностью укрепленной ракетной шахты. Однако, если для боеголовки с уменьшенной мощности нельзя будет определить новой военной задачи, ее военная значимость будет равна нулю.

Поэтому официальные представители правительства США говорили, что остановка производства трития на заводе в Саванна-Ривер представляет национальную аварийную ситуацию, до тех пор, пока не стало ясно, что трития, высвобождающегося при ядерном разоружении, хватит по крайней мере на ближайшие двадцать лет.

Предполагая, что оставшийся тритий будет перераспределяться для обслуживания максимального числа оставшихся боеголовок, и принимая далее слишком консервативное предположение об эффективной военной бесполезности боеголовок без трития, можно считать, что развертывание ядерных боеголовок будет сокращаться со скоростью распада трития, т.е., 5,5 процента в год.

Остается только рассмотреть, как такие меры повлияют на ядерные арсеналы другие ядерных дер-

Таблица А.1

Полная мощность оперативного арсенала ядерного оружия США при различных предположениях

Тип	Система оружия	Число ^а	Номинал. мощность ^б (кт)	Верхний предел (Мт)	Нижний предел (Мт)	Мощность без трития (Мт)
B53-1	Страт. бомба	(50)	9000	(450)	(450)	(0,5)
B61	Страт. бомба	750	10-300	225	8	2,3
B61	Такт. бомба	600	10-175	105	6	1,1
W62	Минитмен III	(610)	170	(104)	(104)	(1,0)
W76	Трайидент I C4	3000	100	300	300	3,0
W78	Минитмен III	(920)	335	(308)	(308)	(3,1)
W80	ALCM, SLCM	1750	5 и 150	263	9	2,6
B83	Страт. бомба	650	малая-1200	780	7	6,5
W87	MX	525	300	158	158	1,8
W88	Трайидент II D5	400	475	190	190	1,9
W89	SRAM II	(0)	200	(0)	(0)	(0)
(1) В настоящее время		9255		2883	1710	25
(2) После снятия B53, W62, W78		7675		2021	678	19
(3) После выполнения СНВ-II		≈4450		≈1400	≈500	≈13
(4) После глубоких сокращений до 500 боеголовок		≈500		≈160	≈60	≈1,5

^а Данные взяты из Norris (1994)⁷. Числа в скобках показывают, что известно или вероятно, что указанные боеголовки будут сняты с вооружения в ближайшие несколько лет. Находящиеся в настоящее время в арсенале боеголовки отмечены жирным шрифтом на рис. А.1.

^б Данные взяты из Norris (1994)⁸.

жав. Интересный случай представляет Украина, поскольку на ее территории находятся ядерные боеголовки, но она не имеет средств восполнения трития. Если предположения, принятые для США, справедливы и для Украины, то полная мощность также уменьшится на два порядка величины (см. табл. А.2). Это интересно, потому что эта страна не имеет доступа к тритию, достаточного для восполнения теряющегося в радиоактивном распаде, если она решит изменить свою политику и захочет восполнить тритий⁹.

А.4. Уменьшение мощности из-за извлечения трития: возможность качественного ядерного разоружения

Сокращение мощности ядерного оружия за счет извлечения трития может рассматриваться как новый подход к ядерному разоружению. Предварительным условием для такого ядерного разоружения может служить решение по ликвидации ядерного оружия с большой мощностью и в значительном уменьшении общей мощности арсенала. Такой подход к ядерному разоружению был представлен в 1991 году Трутневым и др.¹⁰. Вместо сокращения количества систем доставки ядерного оружия Трут-

нев и др. предложили ограничить мощность взрыва каждого ядерного оружия до трех-пяти килотонн тринитротолуола. Теоретически общая мощность ядерных арсеналов сверхдержав (около 6 мегатонн) уменьшилась бы примерно в 100 раз. Они отметили, что такие ядерные арсеналы все еще были бы достаточны для поддержания системы сдерживания, но не представляли бы угрозы цивилизации. Более того, баланс сил был бы более стабильным, потому что потенциальная эффективность первого удара стратегических наступательных сил была бы существенно уменьшена.

Трутнев и др. полагают, что их предложение могло бы стать решающим шагом к миру, свободному от ядерного оружия. Следующим шагом могло бы стать численное сокращение ядерных боеголовок при сохранении двусторонней стабильности. Со временем военные концепции и политические доктрины, опирающиеся на ядерное сдерживание, должны были быть оставлены, расчищая дорогу для ликвидации ядерного оружия. В настоящее время максимальная мощность стратегического ядерного арсенала США составляет примерно 2,9 гигатонны (см. табл. А.1)¹¹. При использовании в стратегической войне общая мощность зарядов США и России будет превышать 5 гигатонн и может привести к ядерной зиме, хотя

Таблица А.2

Полная мощность ядерного оружия на Украине в конце 1993 года с тритием и без него. Все данные взяты из¹⁰.

Система доставки	Количество	Число ГЧ	Номинальная мощность, кт	Мощность с тритием, Мт	Мощность без трития, Мт
МБР SS-19	130	6	550	429	4,3
МБР SS-24	46	10	100	46	0,5
Бомбардировщик "Беэр" H 16	22	16	250	88	0,9
Бомбардировщик "Блэкджек"	20	12	250	60	0,6
Всего	218			623	6,3

научная основа ядерной зимы все еще остается неопределенной. Во всех моделях стратегической ядерной войны, приводящих к сценарию ядерной зимы, предполагается, что общая мощность взрывов составит от 5 до 10 гигатонн, что приведет к немедленной смерти от 750 миллионов до 1,1 миллиарда человек в северном полушарии, и, возможно, еще 2 миллиардов человек впоследствии¹². Даже после СНВ-II верхний предел полной мощности остающегося ядерного арсенала США составит около 1,4 гигатонн (см. табл. А.1). Это уменьшение мощности, вероятно, не предотвратит возможности ядерной зимы.

Некоторые из остающихся в арсенале боеголовок имеют переменную мощность. Если после выполнения СНВ-II отключить все варианты мощности, кроме минимальной, то общая мощность американского арсенала уменьшится на 0,5 гигатонны (см. табл. А.1). Неясно, можно ли реализовать этот вариант необратимым или верифицируемым образом, и это даст миру только небольшой шаг в сторону от ужасного сценария стратегической ядерной войны.

Очевидно, что возможность и верифицируемость уменьшения мощности взрыва являются ключевыми вопросами любого подхода к разоружению. Трутнев и др.¹³ заявили, что предлагаемый ими предел на мощность может быть легко реализован при использовании физических особенностей конструкции современного ядерного оружия, созданного в СССР и США. Однако, авторы не привели деталей, заявив: "К сожалению, мы не можем представить здесь деталей", читатели могут доверять их работе из-за их доступа к секретной информации. На деле Трутнев известен как "создатель советского термоядерного арсенала".

Вывод этой работы заключается в том, что извлечение трития может стать ключом как к возможности, так и к верифицируемости сокращения мощности. Лучшим путем к достижению и верификации существенного сокращения мощности взрыва может быть полное извлечение трития из всего ядерного оружия и из производственного цикла ядерных вооружений. Мощность может быть немедленно уменьшена примерно в сто раз и стать равной 0,025 мегатонны для современного арсенала, 0,013 мегатонны после выполнения СНВ-II и 0,0015 мегатонны для 500 боеголовок.

Идея использования распада трития в качестве силовой функции подробно обсуждалась в 1988 году в США после того, как по соображениям безопасности был выключен последний промышленный реактор на заводе в Саванна-Ривер¹⁴. Однако, основная идея "силовой функции" отличается от данного предложения в том, что она направлена на усиление темпа сокращения числа боеголовок, соответствующего радиоактивному распаду трития. Данное предложение не зависит от действительного числа боеголовок, остающихся в арсенале. Более того, радиоактивный распад занимает годы, в то время как извлечение является немедленным разоружением.

А.5. Исполнение и верификация уменьшения мощности посредством извлечения трития

Некоторые проблемы тритиевого подхода к сокращению мощности очевидны. Трудно оценить потенциал остающегося арсенала, в особенности из-за того, что технические предположения, сделанные в настоящей статье могут не выполняться или не могут быть доказаны из-за того, что соответствующая информация остается секретной. Извлечение трития не так просто осуществить в двустороннем верифицируемом соглашении не только потому, что влияние на российские и американские боеголовки может оказаться асимметричным, но и потому, что может оказаться трудным согласовать процедуру

верификации, которая включает инспекцию боеголовок на месте.

Если отдельная страна решит отказаться от оружия большой мощности, то она может извлечь тритий в одностороннем порядке и верификация окажется ненужной. Это может побудить другие страны сделать то же самое. Если инспекторам будет разрешен доступ к ядерным боеголовкам, то извлечение трития может быть проверено. Извлечение трития является простым процессом, потому что ампулы с тритием сконструированы с учетом замены. Места размещения ампул с тритием в боеголовках могут быть опечатаны и отсутствие трития может быть подтверждено проверкой целостности печатей. Инспекция боеголовок не раскроет информации о их внутреннем устройстве.

Оставшиеся запасы трития могут быть переданы международному проверяющему агентству. Поскольку тритий распадается с периодом полураспада в 12,3 года, необъявленные запасы истощатся сравнительно быстро. Полная верификация обнаружит любые тайные попытки производства трития или передачи трития из гражданских источников для военных целей. Тритий может быть включен в верифицируемое прекращение производства расщепляющихся материалов¹⁵. Военные промышленные реакторы могут быть выключены и могут быть проверены национальными техническими средствами, так же как и инспекциями на месте. В основной статье показано, что могут быть установлены процедуры контроля над тритием, позволяющие быстро обнаружить любые существенные переключения.

Примечания и ссылки

1. Cochran, T.B., W.M. Arkin, M.M. Hoenig, Nuclear Weapons Databook, Volume 1: U.S. Nuclear Forces and Capabilities, Cambridge, 1984. Hansen, C., U.S. Nuclear Weapons. A Secret History. Arlington, Texas (1988). См. также Norris, R.S., W.M. Arkin, "U.S. Nuclear Weapons Stockpile", July 1994, Bulletin of Atomic Scientists, p. 61 - 63 (July/August 1994); Norris R.S., частное сообщение, июль 1993 г.
2. В этой статье отношение мощности к весу определяется как отношение полной мощности взрыва к полному весу собранной боеголовки. Масса расщепляющихся материалов и термоядерного топлива в этом контексте не представляет интереса и, как правило, не известна широкой публике.
3. Ускорение означает увеличение эффективности деления, которое достигается нейтронами из реакций синтеза нескольких граммов трития и дейтерия, находящихся в центре сборки расщепляющихся материалов. Энергия синтеза составляет только малую долю общей энергии взрыва.
4. Испытание было проведено в 1952 г. В качестве расщепляющегося материала использовался "опаллой". Hansen, C., U.S. Nuclear Weapons. A Secret History. Arlington, Texas (1988).
5. Hansen, C., U.S. Nuclear Weapons. A Secret History. Arlington, Texas (1988).
6. Hippel, F. v., H.A. Feiveson, C.E. Paine, "A Low-Threshold Nuclear Test Ban", International Security, 12, 2 (1987) pp. 135 - 151.
7. Norris, R.S., W.M. Arkin, "U.S. Nuclear Weapons Stockpile", July 1994, Bulletin of Atomic Scientists, p. 61 - 63 (July/August 1994).
8. Norris, R.S., W.M. Arkin, "U.S. Nuclear Weapons Stockpile", July 1994, Bulletin of Atomic Scientists, p. 61 - 63 (July/August 1994).
9. 14 января 1994 года Украина, США и Россия подписали трехстороннее заявление, по которому Украина согласилась перевезти все ядер-

- ные боеголовки со своей территории на территорию России. В середине июня 1994 года Украина значительно опередила план-график выполнения первого этапа трехстороннего соглашения. Она деактивировала все 46 ракет СС-24 и по крайней мере 30 из 130 МБР СС-19, перевезла по крайней мере 180 из 1240 боеголовок МБР в Россию и публично обещала вывести все оставшиеся боеголовки в течение 3 или 4 лет. См. также Larrabee, F.S., "Ukraine: Europe's Next Crisis", Arms Control Today, (July/August, 1994), pp. 14 - 19. Продолжая текущий темп вывоза в 60 боеголовок в месяц вся транспортировка может быть завершена за 28 месяцев. Более детальное описание политики ядерного оружия Украины и ее мощностей по производству трития см. в основном тексте.
10. The International Institute for Strategic Studies: The Military Balance 1993 - 1994, London (1993).
 11. Полная мощность советского стратегического ядерного оружия, остающегося на украинской территории, больше 0,6 гигатонн (см. табл. А.2).
 12. P.R. Ehrlich et al., "Long-term biological consequences of nuclear war", Science, 222 (1983), pp. 1293 - 1300.
 13. Trutnev, Y., I. Andrijushin, A. Chernyshev, "On the elimination of the global nuclear threat", Pugwash Newsletter, vol. 29, (July, 1991), pp. 23 - 25.
 14. Mark, J.C., et al., "The Tritium Factor as a Forcing Function in Nuclear Arms Reduction Talks", Science, vol. 241, p. 1166 (1988). См. также Nuclear Control Institute (NCI), American Academy of Arts and Sciences (AAAS), "The Tritium Factor", Washington/Cambridge (1988); Sutcliffe, W.G., "Limits on Nuclear Materials for Arms Reduction - Complexities and Uncertainties", Science, vol. 241, p. 1166 (1988).
 15. См. основной текст и Kalinowski, M.B., L.C. Colschen and P.M. Leventhal, "Why and How Tritium Should be Considered Under a Verified Cutoff of Fissile Materials Production", Proc. of the 42nd Pugwash Conference on Science and World Affairs in Berlin (September 11 - 17), Volume I, pp. 473 - 480, Singapore et al. (1994).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ГАРАНТИЙ ИП И МСКТ

Существенное количество трития может быть положено равным одному грамму, что составляет заметную часть от типичного количества, используемого в одной ядерной боеголовке (от 2 до 3 граммов). Мы предполагаем, что система гарантий должна быть способной обнаружить переключение одного грамма за интервал обнаружения t_d в один год. Эти величины и соответствующие детали действий по контролю зависят от принятых подходов к контролю (т.е., ИП или МСКТ). В результате анализа путей переключения и намеченных сценариев режима стало ясно, что должны быть решены две различные задачи контроля: верификация отсутствия производства для оружия и верификация отсутствия переключения из гражданских источников¹.

Верификация отсутствия производства трития для оружейных целей требуется как в ИП, так и в МСКТ. Для ИП наиболее важной задачей является верификация состояния холодного резерва военных промышленных установок. Для МСКТ инспекции будут проводиться на всех источниках нейтронов (установки типа 1, см. табл. Б.1) и на заводах изготовления топлива (установки типа 2). Верификация будет основана в первую очередь на методах неразрушающего анализа для обнаружения сырьевых материалов, подобных литию-6, которые могут использоваться для производства.

Верификация отсутствия извлечения из гражданских запасов трития требуется в МСКТ и может быть предусмотрена в ИП, если МСКТ не будет внедряться одновременно. Она должна проводиться на всех установках с существенными запасами или потоками трития (установки типов 1b,d, 3 - 8). Эта задача выполняется материальным учетом, дополненным ограничением и наблюдением на установках для работы с тритием для предотвращения или обнаружения переключения трития. Большая часть гражданских установок, которые должны подлежать контролю за тритием, уже находится под международными гарантиями ядерных материалов, поскольку тритий, также как и плутоний, может производиться только в ядерных реакторах или других мощных источниках нейтронов. Это видно из табл. Б.1, которая показывает общемировое количество установок восьми типов, имеющих отношение к проблеме.

Возможности переключения, связанные с извлечением непреднамеренно произведенного трития, или с изъятием трития из существующих гражданских запасов заставляют поставить под гарантии небольшое количество установок по всему миру в дополнение к тем, которые уже инспектируются для верификации запасов расщепляющихся материалов. В зависимости от конкретного соглашения, дополнительное число установок, на которых производятся работы с тритием, вероятно, составит от 10 до 50. Большая часть деятельности по контролю за тритием на ядерных реакторах (типы установок 1a-d), связанной с подтверждением отсутствия производства, уже проводится в рамках регулярных процедур ядерных гарантий, проводящихся МАГАТЭ и Евратомом. Текущие и будущие ядерные гарантии будут эффективно обнаруживать аномалии в большинстве сценариев производства трития и даже будут достаточными для контроля за тритием в 20 процентах всех возможных путей.

В других случаях могут быть приняты дополнительные меры (например, неразрушающий анализ для идентификации лития-6 или учета трития), которые, в свою очередь, повысят эффективность ядерных гарантий. Эти действия по ядерным гарантиям, которые уже выполняются МАГАТЭ для обнаружения необъявленного производства плутония из природного урана, позволят обнаружить необъявленное производство трития даже в малых количествах. Все нейтронные источники, в которых может производиться существенное количество плутония (более 8 килограммов за один год) находятся под ядерными гарантиями. Поскольку производство трития всегда конкурирует с производством плутония, все установки и возможные пути, в которых возможно производство более 110 граммов трития в год (третий эквивалент 8 килограммов плутония в год), уже находятся под гарантиями МАГАТЭ. Внедрение специально разработанных мишеней для производства в свежие топливные элементы может обнаружено на заводах по производству топлива (тип 2). Если это необходимо, то топливные элементы могут быть запечатаны.

Дальнейшие гарантии могут проводиться подсчетом позиций и проверкой печатей, вместе с мерами по удержанию и наблюдению, которые уже

Таблица Б.1
Сводка данных об установках, подлежащих контролю за тритием по всему миру

Тип установки ^а	Число в 1993 г. ^б	Гарантии в 1992 г. ^в	Минимум добавления для МСКТ ^г	Максимум добавления для МСКТ и ИП ^д
1а) Ядерные энергетические реакторы	424	201	0	424
1б) Энергетические реакторы с тяжелой водой (включены в 1а)	(32)	(28)	(0)	(32)
1с) Исследовательские реакторы и критические сборки	323	169	0	267 ^е
1д) Исследовательские реакторы с тяжелой водой (включены в 1с)	(21)	(13)	(0)	(11) ^ж
1е) Военные промышленные реакторы (включая остановленные)	51	0	0	51
1ф) Специальные источники нейтронов ^з	4	1	0	4
2) Заводы изготовления топлива	42	23	0	42
3) Отдельные хранилища отработанного топлива	28	19	0	28
4) Установки по переработке	22	6	0	10 ^и
5) Хранилища и захоронения ядерных отходов	23	1	3	7
6) Установки выделения тритированной воды	6	0	3	6
7) Исследовательские установки с запасом или годовым потоком более 1 г	12	0	4	12
8) Производители трития с запасом или годовым потоком более 1 г	21	0	4	21
Всего	956	420	14	872

^а Число типов установок такое же, как на рисунке 2.

^б Все данные приведены на 31 декабря 1992 года. Некоторые включают подозреваемые установки, другие могут быть меньше реальных данных из-за отсутствия у авторов информации о существовании установок. Не включены планируемые, строящиеся, остановленные и находящиеся в резерве установки, за исключением типа 1ф. Основной источник Varley/Dingle/Gee (1993)¹².

^в Данные приведены на 31 декабря 1992 года, IAEA (1993)¹³.

^г Эти числа показывают разницу между тем, что требуется существующими ядерными гарантиями МАГАТЭ, и тем, что понадобится, если тритий будет добавлен к материалам, контролируемым по ДНЯО, т.е., при присоединении МСКТ к ДНЯО, но без контроля за ядерными державами.

^д Эти цифры предполагают совместное выполнение соглашений по ИП и МСКТ всеми соответствующими государствами, присоединившимися к указанным соглашениям. Они представляют базовый вариант, в котором под контроль трития подпадает максимальное количество установок, включая бывшие установки военного производства, которые, по предположению, находятся в состоянии резерва. Эти количества меньше общего числа существующих установок, поскольку некоторые установки не достигают критического уровня по запасам, потокам или производственным мощностям.

^е Будет необходимо контролировать только те исследовательские реакторы, которые могут быть использованы для ежегодного производства трития, превышающего определенный уровень, в качестве примера выбранного равным 1 г/год. Учитывая скорость производства на специализированных установках, приведенные в табл. 3, реакторы мощностью менее 200 кВт могут не подвергаться контролю.

^ж Для того, чтобы перекрыть путь тяжелой воды с производством более 1 г/год, надо поставить под гарантии только реакторы с мощностью более 12 МВт (см. табл. 3).

^з В настоящее время эта категория включает только источники нейтронов "обдирания". В будущем на исследовательских термоядерных установках могут быть получены потоки нейтронов, достаточные для того, чтобы ежегодно получать существенные количества трития. Тогда они могут быть включены в этот тип.

^и Сюда включены только заводы по переработке с мощностью более 10 тонн тяжелого металла в год. Меньшие установки, вероятно, будут производить менее одного грамма трития в год и поэтому могут быть исключены из-под контроля трития (см. основной текст).

входят в действующую практику. Обнаружение мишеней для производства трития в топливных элементах, вероятно, может быть достигнуто при регулярных измерений обогащения урана и полного содержания расщепляющихся материалов в свежих комплектах топлива после их окончательной сборки. Это может быть сделано при помощи "воротника нейтронов совпадений" (ВНС), который может выявить аномалии, обусловленные включением необъявленных стержней с мишенями. Например, как было показано расчетами по методу Монте-Карло², мишени из лития-6 в свежих топливных элементах вызовут понижение скорости счета. Если такое обстоятельство не будет разъяснено операторами ус-

тановки, могут быть проведены дополнительные исследования, в том числе разрушающие. Самым трудным для обнаружения сценарием производства будет маскировка стержней с мишенями из лития-6 под стержни с выгорающим поглотителем, использование которых стало увеличиваться для обеспечения большей степени выгорания топлива. Расчеты по методу Монте Карло показали, что отклик ВНС на такой сценарий также может выявить аномалии.

Если этот метод не окажется достаточно надежным, можно будет использовать как дополнительную меру взвешивание топливныхборок. Оно не входит в число инспекционных действий МАГАТЭ, но может, однако, оказаться легким методом для

предоставления указаний на замену ядерного топлива на литий-6, поскольку при этом вес значительно уменьшится. В то же время это усилит ядерные гарантии. Хотя МАГАТЭ регулярно проверяет состав топливных стержней перед облучением, состав управляющих стержней не проверяется никогда. Для отожествления материала поглотителя нейтронов вставляемые управляющие стержни должны подвергаться неразрушающей проверке. Обещающим методом обнаружения может стать ядерное резонансное поглощение на уровне 3,56 МэВ лития-6⁴.

Дополнительные процедуры контроля за неизвлечением необходимы на реакторах с тяжелой водой (типы 1b,d) и установках по удалению трития из воды (тип 6) для обнаружения необъявленного извлечения тритированной воды. Они могут частично опираться на гарантии МАГАТЭ по тяжелой воде, которые, согласно их объявленной задаче, уже сейчас могут обнаружить переключение умеренно тритированной тяжелой воды, содержащей более 100 граммов трития в год. Существенное количество тяжелой воды принято равным 20 тоннам. Концентрация трития в тритированной тяжелой воде может достигать 2 Тбк/кг, так что в 20 тоннах содержится около 110 граммов. В настоящее время такие гарантии внедрены только в Аргентине.

Отработанное топливо в реакторах (типы 1a-d) или хранилищах (тип 3) должно проверяться для предотвращения попыток извлечения трития, накапливающегося в нем как побочный продукт. Это легко достичь визуальным контролем, поскольку любой метод извлечения (например, применение тепловой обработки) нарушит целостность поверхности и геометрию топливных стержней.

Незаконное извлечение отработанного топлива из реакторов или хранилищ, содержащего более 0,2 грамма трития может быть обнаружено уже сейчас. Современные ядерные гарантии предусматривают обнаружение переключения топлива, содержащего более 8 килограммов плутония в течение трех месяцев. Это соответствует примерно 800 килограммам отработанного топлива, в котором, в зависимости от типа топлива и степени выгорания, содержится от 60 до 180 миллиграммов трития. Учет трития, дополненный удержанием и наблюдением, является приемлемым методом контроля для верификации неизвлечения трития на всех предприятиях с обработкой трития (типы 4 - 8).

Учет трития является обычной практикой на всех предприятиях, где используется тритий, с целью радиационной защиты; он проводится операторами установок и контролируется национальными властями. Прецедентом для таких мероприятий может служить соглашение между Евратомом и Канадой (см. выше).

Техническая проблема учета может быть оценена при помощи определения ожидаемой способности учета E как функции точности измерений при подведении материального баланса. Это соотношение может быть в некоторой степени приближено выражением

$$E = 3,25 \cdot \delta_E \cdot A$$

где E - ожидаемая способность учета (или относительное стандартное отклонение), которое представляет собой минимальную потерю ядерного материала, которую ожидается обнаружить при учете материала, A - количество материала в балансе, которое может представлять собой либо поток, либо запасы, множитель 3,25 соответствует вероятности обнаружения в 0,95 и вероятности ложной тревоги в 0,05, δ_E - ожидаемая точность измерений при закрытии баланса материала, т.е. ожидаемая точность неучтенного материала (НМ)⁵.

Ожидаемая в ядерных гарантиях точность измерений основана на международных стандартах

учета, т.е. рассматривается как достижимая на практике на ядерных предприятиях, и лежит в пределах от 0,002 для заводов по обогащению урана, до 0,01 на заводах по выделению плутония и до 0,25 для отдельных хранилищ отходов⁶. Для тяжелой воды на энергетических реакторах δ_E оценивается как 0,005⁷. Исследование, проведенное для двух тритиевых лабораторий с общими запасами около 100 граммов, привело к выводу, что допустимый предел НМ составляет примерно 5 процентов запасов и по меньшей мере равен 3 граммам⁸.

Главной причиной таких относительно высоких значений является консервативный подход к оценке количества связанного в системе трития и неопределенность измерений запасов. Более реалистичная оценка НМ, основанная на опыте США, приводит к более определенному выводу. Большая часть значений точности измерений, реально достигнутых на различных установках с использованием трития, лежит в интервале от 0,0025 до 0,05. Точность измерения на предприятиях по обработке отходов примерно равна 0,2⁹.

Из этих данных можно сделать вывод, что данные по способности учета трития, которые могут быть достигнуты, хорошо соответствуют возможностям выполняемых МАГАТЭ ядерных гарантий¹⁰. Правила радиационной защиты в любом случае накладывают требования как на существенное количество, так и на время обнаружения, которые являются значительно более строгими, чем необходимые для верификации нераспространения.

Поскольку тритий газообразен, возникают особые технические проблемы, которые могут проявиться при определенных обстоятельствах. Наиболее очевидным является то, что тритий может быть легко выпущен без всякого учета простым открытием клапана. Такие слабые точки учета могут быть укреплены добавлением дополнительных к учету мер контроля, например, опечатыванием клапанов, которое предотвратит неучтенные выбросы. Тем не менее, физическая защита трития не может быть гарантирована, если не будет успешно запрещен доступ к тритию, поскольку контейнер с тритием легко пронести незамеченным через пункты проверки. Но физическая защита не является целью ядерных гарантий, в то время как задача верификации может быть решена, поскольку любое значительное хищение трития может быть обнаружена в течение года при учете трития.

Учитывая существующие запасы трития и его источники (см. табл. 4), можно сделать вывод о том, что *верификация непереключения трития возможна при разумной стоимости*. Для контроля над тритием необходимо контролировать все установки. Процедуры для верификации непереключения трития должны быть введены на ограниченном числе установок (до 50, в зависимости от специфического инструмента контроля и членства), в которых не производится работы ни с какими ядерными материалами, кроме трития (см. табл. Б.1). Подлежащее контролю количество трития, измеряемое в предельных нормах, меньше, чем измеряемое в таких же единицах количество плутония¹¹.

В результате, с технической точки зрения не имеется фундаментальных проблем во введении процедур контроля над тритием на базе современной технологии, даже если предельная норма будет установлена в один грамм, что является консервативной оценкой.

Примечания и ссылки

1. Colschen, L.C. and M.B. Kalinowski, "Can International Safeguards be Expanded to Cover Tritium?", IAEA-SM-333/27, Proc. IAEA Volume, pp. 493 - 503, Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994).

2. Более подробный обзор более чем 50 различных путей см. в Kalinowski, M.B., "Monte Carlo Simulation of Neutron Coincidence Collar Response to Burnable Neutron Poisons in PWR Fuel Assemblies", Paper IAEA-SM-33/29, Proc. IAEA Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994), Volume 2, pp. 434 - 498. См. также Kalinowski, M.B., "Monte Carlo Simulation und (u,8) Experimente zur Entdeckung von Lithium-6. Physikalische Frage zur Tritium Kontrolle", Ph.D. thesis (представлены в Технический университет в Дармштадте в 1995 году; в них содержится написанное по английски развернутое приложение по техническим аспектам международного контроля за тритием).
3. Более подробный обзор более чем 50 различных путей см. в Kalinowski, M.B., "Monte Carlo Simulation of Neutron Coincidence Collar Response to Burnable Neutron Poisons in PWR Fuel Assemblies", Paper IAEA-SM-33/29, Proc. IAEA Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994), Volume 2, pp. 434 - 498. См. также Kalinowski, M.B., "Monte Carlo Simulation und (u,8) Experimente zur Entdeckung von Lithium-6. Physikalische Frage zur Tritium Kontrolle", Ph.D. thesis (представлены в Технический университет в Дармштадте в 1995 году; в них содержится написанное по английски развернутое приложение по техническим аспектам международного контроля за тритием).
4. Более подробный обзор более чем 50 различных путей см. в Kalinowski, M.B., "Monte Carlo Simulation of Neutron Coincidence Collar Response to Burnable Neutron Poisons in PWR Fuel Assemblies", Paper IAEA-SM-33/29, Proc. IAEA Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994), Volume 2, pp. 434 - 498.
5. IAEA, "IAEA Safeguards Glossary", Vienna (1987).
6. IAEA, "IAEA Safeguards Glossary", Vienna (1987).
7. Morsy, S., et al., "Evaluation of Heavy Water (D₂O) Material Balance in Power Reactors", IAEA-SM-293/15, IAEA (1987a). См. также IAEA, "IAEA Safeguards Technology 1986", Proc. Intern. Symp. on Nuclear Materials Safeguards held in Vienna 10 - 14 Nov. 1986, Vienna (1987).
8. Kraemer, R., et al., "Common Tritium Control Methodology Proposed for Two Civil Facilities ETHEL and TLK", 15th Annual Meeting of ESARDA, Rome (May 11 - 13, 1993). См. также Housidias, C., A. Perujo, G. Vassallo, "The Control of Tritium in ETHEL", IAEA Technical Committee Meeting on "Developments in Fusion Safety", in Journal of Fusion Energy, Toronto, Canada (June 7 - 11, 1993).
9. Более подробный обзор более чем 50 различных путей см. в Kalinowski, M.B., "Monte Carlo Simulation of Neutron Coincidence Collar Response to Burnable Neutron Poisons in PWR Fuel Assemblies", Paper IAEA-SM-33/29, Proc. IAEA Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994), Volume 2, pp. 434 - 498.
10. Более подробный обзор более чем 50 различных путей см. в Kalinowski, M.B., "Monte Carlo Simulation of Neutron Coincidence Collar Response to Burnable Neutron Poisons in PWR Fuel Assemblies", Paper IAEA-SM-33/29, Proc. IAEA Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994), Volume 2, pp. 434 - 498.
11. Colschen, L.C. and M.B. Kalinowski, "Can International Safeguards be Expanded to Cover Tritium?", IAEA-SM-333/27, Proc. IAEA Volume, pp. 493 - 503, Symposium on International Safeguards, Vienna (March 14 - 18, 1994).
12. Varley, J., A. Dingle, S.C. Gee, World Nuclear Industry Handbook, 1993, Sutton (1993).
13. IAEA, "The Annual Report for 1992", Vienna (1993).
14. Liebert, W., and M.B. Kalinowski, "Present Problems of Nuclear Non-Proliferation (and Nuclear Disarmament) from Natural Scientists Point of View", 43rd Pugwash Conference on Science and World Affairs, Hasselunden, Sweden, (June 9 - 15, 1993).