

Удаление содержащихся в отходах актинидов путем их повторного использования в ядерных реакторах

Х. А. К. Маккей*

После нескольких веков радиоактивного распада долговечные актиниды — элементы с атомными номерами 89-103 — могут представлять собой источник основной потенциальной радиационной опасности для здоровья человека. Это является следствием того, что по истечении такого промежутка времени все продукты деления, за исключением лишь нескольких (в основном технеция-99 и йода-129), распадаются до незначительных уровней, и поэтому основными опасными элементами остаются актиниды. Ввиду этого на первый взгляд представляется привлекательной идея повторного использования актинидов в ядерных реакторах с целью их удаления путем ядерного деления.

Расчеты ядерных реакций показывают, что процесс будет происходить с достаточной эффективностью и что нейтронный баланс реактора не будет существенно нарушен в результате присутствия в топливных элементах актинидной добавки. В связи с этим имеются веские основания для детального изучения этой идеи, и в ряде стран были проведены соответствующие исследования. Результаты этих исследований были недавно обобщены на международных конференциях, состоявшихся в Европейском объединенном исследовательском центре в Испра, Италия [1] и в Остине, шт. Техас, США [2], а также в техническом докладе МАГАТЭ, озаглавленном "Оценка разделения и трансмутации актинидов", явившемся итогом осуществления четырехлетней программы координированных исследований МАГАТЭ [2а]; настоящая статья основана на материале этого доклада. Термин "разделение" означает выделение актинидов из отходов ядерного топливного цикла; этот процесс является необходимым предварительным этапом перед введением актинидов в реакторы с целью их трансмутации путем ядерного деления. Полная схема сокращенно будет называться "Р-Т" (разделение-трансмутация).

Основными рассматриваемыми актинидами являются нептуний, америций и кюрий, содержание которых в типичном ядерном топливе при выгрузке его из реактора составляет около 0,1%. (В ториевом топливном цикле, который не рассматривается в настоящей короткой статье, образуется также протактиний). При переработке топлива эти элементы попадают в потоки отходов. Их можно

назвать актинидными отходами, в то время как уран и плутоний можно назвать актинидным топливом.

Р-Т актинидных отходов вряд ли имело бы смысл производить, если бы значительно большие количества плутония, участвующего в топливном цикле, можно было хранить бесконечно долго. Поэтому повторное использование актинидных отходов следует рассматривать в контексте повторного использования плутония в качестве топлива либо легководных реакторов, либо быстрых реакторов-размножителей.

В схему должны быть включены все потоки отходов, содержащих актиниды. Наиболее важными являются высокоактивные отходы (ВАО), возникающие при переработке топлива и содержащие основную часть как продуктов деления, так и актинидных отходов; однако ряд других потоков также содержит значительные количества актинидов, например, выбрасываемые оболочки топлива и материал, отбракованный при изготовлении топлива. На практике предпринимаются попытки дезактивировать все эти потоки как актинидного топлива, так и актинидных отходов и вернуть восстановленные актиниды в соответствующие участки топливного цикла. Эти усилия будут продолжаться независимо от того, возвращаются актинидные отходы на реакторы для трансмутации или нет, и ВАО будут являться единственным источником актинидных отходов. Концепция Р-Т потребует при этом еще одного этапа разделения ВАО.

Описание схемы

Для обеспечения Р-Т актинидных отходов требуются следующие этапы:

- разделение ядерных отходов с целью выделения актинидных отходов в достаточно чистой форме;
- изготовление реакторных топливных элементов, содержащих актинидные отходы. В принципе актинидные отходы могут быть либо введены в топливо однородным образом (гомогенное повторное использование), либо сконцентрированы в специальных элементах для трансмутации (гетерогенное повторное использование), хотя при последнем способе могут возникнуть почти непреодолимые трудности, о которых говорится ниже;
- введение топливных элементов, содержащих актинидные отходы, в реакторы для облучения. По-видимому, может быть использован любой из основных типов энергетических реакторов. Масшта-

* Научно-исследовательский центр по атомной энергии, Харуэлл, Дидкот, Оксон, OX11 0RA, Соединенное Королевство.

национальных правительств. Необходимо отметить, что рекомендации Агентства не следует рассматривать как документ, поощряющий сброс радиоактивных отходов в моря. Опубликование этого документа также не означает, что Агентство возложило на себя полномочия обеспечивать контроль за соблюдением этих требований в каждом случае сброса отходов в моря. "Определения и рекомендации" Агентства постоянно пересматриваются и будут дополнены руководящими принципами для выбора мест сброса, наблюдения за ними и проведения экологических оценок. Агентство также выпустит определение минимальных уровней радиоактивности отходов, которые можно сбрасывать как неопасные отходы в соответствии с обычным разрешением. Пересмотр определения радиоактивных отходов, не пригодных для сброса в океан в целях захоронения на большой глубине, показал, что океанографические модели, использованные для выработки этого определения, нуждаются в совершенствовании. Данный вопрос изучается Объединенной группой экспертов ООН по научным аспектам загрязнения морской среды (ГЕСАМП). В Монакской лаборатории** Агентство проводит вспомогательные исследования по изучению поведения радионуклидов в морской среде. Воздействию выбросов радионуклидов в морскую среду был посвящен состоявшийся в 1980 году симпозиум МАГАТЭ/АЯЭ.

Пути переноса радионуклидов в окружающей среде. Оценка путей переноса радионуклидов к человеку в окружающей среде является необходимым этапом оценки радиологических последствий радиоактивных выбросов. В рамках Программы разработки норм безопасности АЭС (ПРНБ АЭС) Агентство провело пересмотр моделей атмосферных и водных путей переноса короткого диапазона, используемых при выборе площадок для АЭС с реакторами на тепловых нейтронах***. Недавно были также пересмотрены общие модели и параметры, связанные с переносом радионуклидов к человеку в окружающей среде, для общих предэксплуатационных оценок выбросов площадок. Агентство также содействовало изучению поведения в окружающей среде нуклидов, вызывающих особую озабоченность с радиологической точки зрения. Поведение трития в окружающей среде было темой проведенного в 1978 году симпозиума, а также программы координированных исследований, которая осуществлялась в период с 1974 по 1978 год. Другие программы координированных исследований направлены на изучение поведения радия в водных пластах и водных путей дисперсии радионуклидов из хранилищ радиоактивных отходов и их миграции в земной среде, круго-

ворота трансурановых элементов в морской среде, а также поведения углерода-14, поступающего с ядерных установок. Предстоящий симпозиум будет посвящен вопросам миграции долгоживущих радионуклидов в земной среде.

Оценки воздействия на окружающую среду. В ходе программы исследований, проведенных в период с 1973 по 1978 год, изучалось воздействие на окружающую среду систем охлаждения и термических выбросов АЭС. Объединяя усилия различных подразделений, МАГАТЭ сотрудничало с Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) в подготовке доклада "Воздействие атомной энергии на окружающую среду"†, а также в проведении сравнительной оценки воздействия на окружающую среду различных источников энергии. В трансграничном (выходящем за пределы одного государства) загрязнении воздуха и воды на больших расстояниях от источника радиоактивные вещества в настоящее время играют незначительную роль по сравнению с другими загрязнителями, однако по мере увеличения масштабов использования атомной энергии они могут стать предметом озабоченности в некоторых регионах мира. Воздействие выбросов некоторых радионуклидов в окружающую среду, таких, как Н-3, Кг-85, С-14 и I-129, а также их радиологическое воздействие в региональном и глобальном масштабах, будет изучаться при осуществлении будущих программ Агентства. В частности материалы по путям переноса радионуклидов в атмосфере будут пересмотрены с целью подготовки в конечном итоге рекомендаций по контролю за такими выбросами.

Сотрудничество с другими международными организациями

В рамках программы Агентства по обращению с отходами при организации совещаний, обмена информацией и консультаций осуществляется сотрудничество со многими межправительственными и неправительственными организациями, такими, как ЮНЕП, ВОЗ, ИМКО, ЮНЕСКО, НКДАР ООН, Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР), ЕЭК, Комиссия европейских сообществ (КЕС) и Совет Экономической Взаимопомощи (СЭВ), а также МКРЗ, МСПРЭ и МСНО.

Обращение с радиоактивными отходами будет по-прежнему занимать важное место в программе Агентства, связанной с ядерной энергетикой и ее топливным циклом. Планируется провести в 1983 году Международную конференцию по обращению с радиоактивными отходами, которая будет посвящена рассмотрению взаимосвязи различных компонентов системы обращения с радиоактивными отходами, включая технические, экологические и нормативные аспекты, а также вопросы, связанные с выбором политики в этой области.

** А. Уолтон "Деятельность Международной лаборатории радиоактивности моря". Бюллетень МАГАТЭ, т. 23, №1 (1981), с. 24.

*** Учет дисперсионных параметров атмосферы при выборе площадок для атомных электростанций. Серия изданий по безопасности № 50-SG-S3. Учет параметров гидрологической дисперсии радиоактивных веществ при выборе площадок для атомных электростанций. Серия изданий по безопасности № 50-SG-S6.

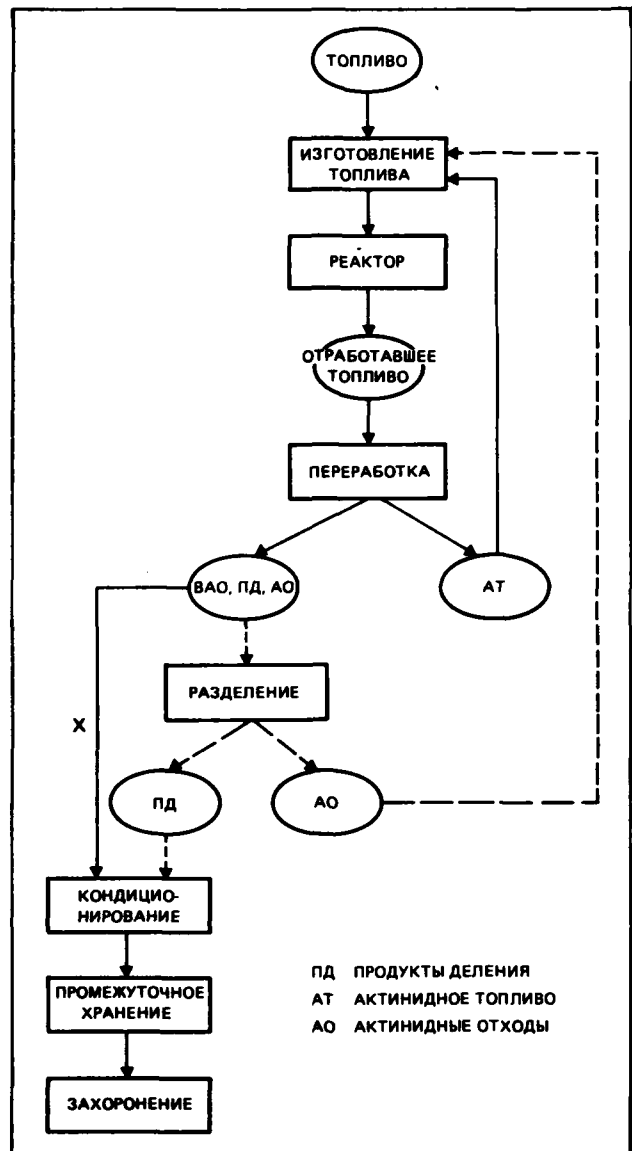
† См. статью Дж. У. Ахмеда и Х. Т. Доу, Бюллетень МАГАТЭ, т. 22, №2 (1980), с. 23.

бы этой операции таковы, что придется использовать значительное количество реакторов;

- переработка облученных топливных элементов и многократное повторное использование актинидных отходов путем проведения серии последовательных операций.

Основные этапы схемы Р-Т представлены на диаграмме, которая также показывает основные отличия этого цикла от обычного топливного цикла. Одно из последствий применения этой схемы можно отметить сразу же. Как и во всех случаях повторно-го использования, продолжительное повторное введение в систему повторно используемых элементов ведет к накоплению количеств этих элементов от цикла к циклу. Обычно количества имеют тенденцию выравниваться после ряда циклов. В данном случае это происходит через 5-10 циклов, когда содержание нептуния и америция приблизительно удваивается, а содержание кюрия (имеющего иные скорости образования и разрушения) возрастает приблизительно в десять раз.

Свойства некоторых актинидных отходов затрудняют обращение с ними. Основными проблемами являются высокие уровни тепловыделения и большие потоки испускаемых нейтронов. В сравнении с отработавшим ядерным топливом, которое, несомненно, также является трудным для обращения материалом, тепловыделение, обусловленное радиоактивным распадом, увеличивается приблизительно в 30 раз, а потоки нейтронов возрастают приблизительно в 10 000 раз. Последнее обстоятельство требует обеспечения мощной защиты и применения дистанционных операций во всех процессах, в которых присутствуют актинидные отходы. Рассеяние тепла, образующегося при радиоактивном распаде, может представить весьма серьезную проблему, когда имеется концентрированная масса актинидных отходов.



Основные особенности нормального топливного цикла и топливного цикла с Р-Т.

Сплошными линиями показан нормальный топливный цикл; пунктирными — дополнительные этапы, необходимые для топливного цикла с Р-Т. В топливном цикле с Р-Т этап X опускается. Как в нормальном топливном цикле, так и в топливном цикле с Р-Т имеется множество других не показанных потоков отходов, образующихся при изготовлении топлива, его переработке и т.д. При полном повторном использовании актинидов содержащиеся в топливе и отходах актиниды должны быть извлечены и повторно введены в соответствующие точки цикла.

ны по существу так же, как и обычные операции переработки. Имеется несколько альтернативных методов, часть которых прошла полные испытания в лаборатории и в некоторой степени на установках [3]. Осуществлению этой части схемы Р-Т достаточно хорошо доказана.

Заключительным этапом является отделение америция и кюрия от лантанидов. По существу найден лишь единственный реагент, который позволяет решить эту задачу; он представляет собой сложное органическое соединение, носящее

Разделение

Как отмечено выше, можно предположить, что в будущем для того, чтобы свести к минимуму проблемы захоронения, актиниды будут удалять из всех отходов, кроме ВАО. В схеме Р-Т требуется еще один этап для удаления актинидов из ВАО. В случае урана, нептуния и плутония, химия которых обладает характерными отличительными особенностями, позволяющими отделять эти элементы от других, никаких особых трудностей не возникает. Однако америций и кюрий (и актиниды с более высокими атомными номерами) в химическом отношении в очень большой степени аналогичны определенным продуктам деления, а именно лантанидам — элементам с атомными номерами 57-71. Их разделения чрезвычайно трудно добиться, а высокий уровень активности ВАО в значительной мере усугубляет эти трудности.

Считается, что регенерация актинидных отходов обычно начинается с регенерации остаточного актинидного топлива и нептуния, после чего производится отделение смешанной фракции америция/кюрия/лантанидов. Эти этапы могут быть осуществле-

название диэтиленetriаминпента-уксусная кислота, или сокращенно ДТРА. Этот реагент может использоваться либо в процессе экстракции растворителем, либо в катионообменном процессе. Например, при добавлении к водной фазе при экстракции соответствующим растворителем он удерживает америций и кюрий в водной фазе, допуская экстракцию лантанидов в фазу растворителя и обеспечивая тем самым разделение соответствующих элементов. Имеется опыт использования ДТРА на крупномасштабных установках в сочетании с катионообменными процессами (хотя и не специально для схемы Р-Т актинидов), и это считается достаточным для доказательства технической осуществимости метода [4].

Тем не менее, реализовать указанный процесс весьма затруднительно, поскольку лантаниды и актинидные отходы присутствуют в нем в высоких концентрациях. Излучение радиоактивных элементов вызывает газовое отравление, повреждение ионообменных подложек и саморазогрев растворов и ионообменных подложек, что приводит к усложнению конструкции и эксплуатации установок, а также влечет за собой значительный объем работ по обслуживанию и большие дозы облучения персонала. Возможность реализации этого процесса в обычных промышленных условиях вызывает сомнения.

Изготовление топлива

Лишь в последнее время значительное внимание стало уделяться проблемам изготовления топлива и топливных элементов, содержащих актинидные отходы [5, 6]. При гомогенном повторном использовании в целом считается, что значительные проблемы не должны возникать, поскольку в топливе уже допускается содержание около 0,1% актинидных отходов, а увеличение их содержания, предусматриваемое схемой Р-Т, может привести к возрастанию этой величины до примерно 0,5%. Тем не менее для разработки методов изготовления топлива, а также создания и испытания топливных элементов потребовалось бы осуществление значительной программы работ.

При гетерогенном повторном использовании, когда актинидные отходы сконцентрированы в специально выделенных топливных элементах, которые распределены среди обычных топливных элементов в реакторе, возникают еще более значительные трудности. Тепло и излучения, испускаемые концентрированными актинидными отходами, создают помехи всем операциям, начиная от подготовки требуемой химической формы (как предполагается, окисла) до сборки топливных элементов из отдельных топливных стержней. Необходимость добавления в актинидные отходы, например, окиси магния, по причинам, упомянутым ниже, до некоторой степени смягчает проблемы, однако они остаются весьма серьезными. В действительности операция сборки топливных элементов для трансмутации в быстром реакторе-размножителе может оказаться вообще неосуществимой; насколько можно сейчас представить, этот процесс необходимо будет осуществлять с дистанционным манипулированием в ванне

жидкого натрия в целях обеспечения соответствующего охлаждения, и эти условия представляются почти невыполнимыми. В случае легководных реакторов с большей степенью разбавления и использованием водяного, а не натриевого охлаждения, проблемы могут оказаться более решаемыми, хотя они все еще лежат вне пределов возможностей существующей технологии.

Трансмутация

Вероятно, что этап трансмутации будет осуществляться на быстрых реакторах, поскольку они, возможно, окажутся единственным типом реакторов, имеющихся в достаточном количестве к тому времени, когда схему Р-Т можно будет осуществлять в крупных масштабах, т.е. через несколько десятилетий. Выбор основывается также на детальном техническом анализе, который показывает, что с точки зрения подобного применения быстрые реакторы по своим характеристикам, по-видимому, несколько превосходят легководные реакторы [4, 7].

Скорости трансмутации, которые, безусловно, различаются от актинида к актиниду и зависят от типа реактора, соответствуют обычно трансмутации половины количества имеющихся актинидов за 2-3 года, однако это время может удваиваться, если принять во внимание коэффициент использования мощности реактора, время нахождения вне реактора и прочие факторы. Поэтому снижение количества актинидных отходов в тысячу раз (что потребует приблизительно 10 последовательных циклов двукратного уменьшения) может занять, таким образом, приблизительно 50 лет. Это означает, что в любой схеме Р-Т актинидные отходы должны повторно пропускаться через реакторы многократно, поскольку топливные элементы могут находиться в реакторе лишь в течение двух лет, после чего характеристики их начинают ухудшаться и они должны быть выгружены.

Кроме того, имеется еще одно последствие, которое связано с потерями актинидов [7]. В обычном топливном цикле актиниды отходов проходят через цикл только один раз, и, кроме ВАО, потери в потоки отходов незначительны. Будут предприняты усилия для снижения этих потерь, однако практически определенные потери неизбежны. В топливном цикле, включающем в себя Р-Т, актинидные отходы неоднократно проходят через цикл, причем каждое прохождение сопровождается потерями, и суммарный объем потерь в несколько раз больше, чем в обычном топливном цикле. На практике в схеме Р-Т будет трудно избежать 1-2% потерь актинидных отходов.

По-видимому, наличие актинидных отходов в быстром реакторе может быть практически полезным с точки зрения баланса нейтронов, однако в легководном реакторе его эффект может быть почти не заметен.

Такие проблемы, как совместимость топлива и оболочки и вероятность повышения температуры центральных частей топливных стержней выше точки плавления топлива, были рассмотрены лишь в

предварительном порядке. Предварительные выводы [5, 6] обнадеживают, однако прежде чем можно будет осуществить схему Р-Т, необходимо провести дополнительные исследования, особенно в случае гетерогенного повторного использования. При гетерогенном повторном использовании, кроме того, возникнет необходимость согласования мощности, выделяемой топливными элементами, используемыми для трансмутации, с мощностью обычных топливных элементов. По-видимому, это лучше всего достигается путем смешивания актинидных отходов с инертным в нейтронном отношении разбавителем, таким, как окись магния [5]; требуемый коэффициент разбавления составит около 2 для быстрых реакторов и около 7 для легководных реакторов.

Оценка опасности

Назначение схемы Р-Т заключается в том, чтобы уменьшить долгосрочную потенциальную радиационную опасность высокоактивных отходов путем удаления актинидов. Это достигается за счет возрастания других потенциальных опасностей, а также усложнения топливного цикла. Достижение баланса представляет трудности отчасти ввиду того, что возможные выгоды носят долгосрочный характер и связаны с воздействием на население, в то время как вредные эффекты проявляются в основном сразу же и воздействуют на операторов АЭС.

Исследования различных методов захоронения не выявили существенных возражений, связанных с радиационной опасностью, против захоронения твердых, содержащих актиниды отходов как в геологических формациях, так и на больших глубинах в океане [4, 8-10]. Если использовать самые последние рекомендации МКРЗ [11] в отношении годовых пределов, то по результатам этих исследований нептуний является более значимым актинидом, причем со значительным перевесом, и применение схемы Р-Т для удаления этого элемента и его предшественников может принести лишь ограниченную пользу. Однако подобную пользу в целом можно получить гораздо более простым и дешевым путем, изменив методы или условия захоронения. В некоторых случаях весьма долгоживущие продукты деления (технеций-99 и йод-129) могут внести значительный вклад в потенциальные опасности и могут ограничивать возможный результат, достигаемый при применении схемы Р-Т.

Ожидается, что по мере поступления новых данных надежность указанных оценок опасности будет постоянно повышаться. Между тем выводы являются в целом обнадеживающими и показывают, что стимулы к применению схемы разделения и трансмутации актинидов незначительны или отсутствуют вовсе.

Расходы

На данном этапе могут быть даны лишь весьма приблизительные оценки расходов на осуществление схемы Р-Т. Тем не менее, по-видимому, имеется согласие в том [4, 12], что эти расходы составят около 5% от общих расходов на топливный цикл,

что, безусловно, нельзя считать приемлемым. Однако возможное снижение долгосрочной коллективной дозы также сравнительно мало, и результаты современных оценок показывают, что весьма маловероятно, что внедрение схемы Р-Т окажется экономически целесообразным.

На основании различных исследований схемы Р-Т, по-видимому, можно сделать следующие основные выводы:

- концепция технически осуществима, хотя в отношении реализации химического разделения в промышленных масштабах существуют сомнения;
- необходимо проведение крупномасштабных и продолжительных разработок;
- первоначальная реализация может быть осуществлена в начале следующего столетия; реализацию в широких масштабах вряд ли можно планировать раньше, чем через несколько десятилетий;
- трансмутация актинидных отходов потребует вовлечения в этот процесс значительной части энергетических реакторов какой-либо страны;
- трансмутация актинидных отходов окажется нецелесообразной, если не будет возвращаться на реакторы и сжигаться в качестве ядерного топлива также и плутоний;
- осуществление данной схемы не будет связано с чрезмерно высокими затратами, однако она также и не будет экономически эффективной;
- долгосрочные радиологические выгоды окажутся ограниченными и могут быть сведены на нет ущербом, непосредственно возникающим при осуществлении операций схемы Р-Т.

Список литературы

- [1] Proc. Second Tech. Mtg. on *The nuclear transmutation of actinides* Ispra, Italy, April 1980 (CEC, Luxembourg, 1980).
- [2] Intern. Conf. on nuclear waste transmutation Austin, Texas, USA, July 1980.
- [2a] E.R. Irish, *Waste Actinide Partitioning/Transmutation, An Assessment* IAEA-SM-246/63, Vienna, Austria, (1981).
- [3] See, for example, *An Evaluation of Actinide Partitioning and Transmutation*, Appendix C, IAEA Tech. Rep. to be published.
- [4] A.G. Croff, J.O. Blomeke, B.C. Finney, *Actinide partitioning-transmutation programme, final report. I. Overall Assessment*, ORNL-5566 (1980).
- [5] E. Zamorani, J. Cametti, C. Ponti, E. Schmidt, F. Caligara, A. Moreno, *Design of fuel pins containing by-product actinides for irradiation in LWR and FBR power plants* EUR-6817 EN (1980).
- [6] A.G. Facchini, S. Gallone, E. Zamorani, *Considerations on a sol-gel type process as a fuel fabrication route for the actinide recycle* ref. [1], p.331.
- [7] H.A.C. McKay, M.G. Sowerby, M. Bustraan, J. Montizaan, A. van Dalen, B. Verkerk, *The separation and recycling of actinides — a review of the state of the art* EUR 5801e (1977).
- [8] Appendices E, F, and G of reference [3].
- [9] W.C. Camplin, P.D. Grimwood, I.F. White, *The effects of actinide separation on the radiological consequences of disposal of high-level radioactive waste on the ocean bed* NRPB-R94 (1980).
- [10] M.D. Hill, I.F. White, A.B. Fleishman, *The effects of actinide separation on the radiological consequences of geologic disposal of high-level waste*. NRPB-R95 (1980).
- [11] ICRP publications 26 (1977) and 30 (1979).
- [12] E. Schmidt, *Possible recycle strategies for by-product actinides in a reference scenario of installed nuclear generating capacity in the EC and their valuation* ref. [1], p.471.

Информация в связи с Договором о нераспространении

По состоянию на 14 мая 1981 года Международное агентство по атомной энергии провело переговоры относительно заключения соглашений о гарантиях с 78 государствами – участниками Договора о нераспространении ядерного оружия (Договор о нераспространении), не обладающими ядерным оружием. Соглашения о гарантиях с 69 из этих государств вступили в силу. Ожидается вступление в силу соглашений о гарантиях, одобренных Советом управляющих МАГАТЭ, еще с 9 государствами, не обладающими ядерным оружием. В круглых скобках после названия государства указывается дата, когда соглашение о гарантиях в связи с Договором о нераспространении должно было или должно будет вступить в силу.

ГОСУДАРСТВА – УЧАСТНИКИ ДОГОВОРА О НЕРАСПРОСТРАНЕНИИ, НЕ ОБЛАДАЮЩИЕ ЯДЕРНЫМ ОРУЖИЕМ

1. Австралия
2. Австрия
3. Афганистан
4. Багамские острова (10 января 1975 г.)
5. Бангладеш (27 марта 1981 г.)
6. Барбадос (21 августа 1981 г.)
7. Бельгия
8. Бенин (30 апреля 1974 г.)
9. Берег Слоновой Кости (6 сентября 1974 г.)
10. Болгария
11. Боливия* (5 марта 1972 г.)
12. Ботсвана (5 марта 1972 г.)
13. Бурунди (19 сентября 1972 г.)
14. Ватикан
15. Венгрия
16. Венесуэла* (26 марта 1977 г.)
17. Верхняя Вольты (5 марта 1972 г.)
18. Гвинея* (7 августа 1975 г.)
19. Гвинея-Бисау* (2 июля 1972 г.)
20. Гамбия
21. Гаана
22. Гватемала* (22 марта 1972 г.)
23. Гвинея-Бисау (20 февраля 1978 г.)
24. Германия, Федеративная Республика
25. Германская Демократическая Республика
26. Гондурас
27. Гренада (19 февраля 1976 г.)
28. Греция
29. Дания
30. Демократическая Кампучия (2 декабря 1973 г.)
31. Демократический Йемен (1 декабря 1980 г.)
32. Доминиканская Республика
33. Египет (26 августа 1982 г.)
34. Заир
35. Индонезия
36. Иордания
37. Ирак
38. Иран
39. Ирландия
40. Исландия
41. Италия
42. Канада
43. Кения (5 марта 1972 г.)
44. Кипр
45. Конго (23 апреля 1980 г.)
46. Корейская Республика
47. Коста-Рика
48. Ливанская Народно-Демократическая Республика (5 марта 1972 г.)
49. Лесото
50. Либерия (5 марта 1972 г.)
51. Ливан
52. Ливанская Арабская Демократическая Республика
53. Лихтенштейн
54. Люксембург
55. Маврикий
56. Мадагаскар
57. Малайзия
58. Мальдивские острова
59. Мали (5 марта 1972 г.)
60. Мальта (5 марта 1972 г.)
61. Марокко
62. Мексика
63. Монголия
64. Непал
65. Нигерия (5 марта 1972 г.)
66. Нидерланды
67. Никарагуа
68. Новая Зеландия
69. Норвегия
70. Объединенная Республика Камерун (5 марта 1972 г.)
71. Панама (13 июля 1978 г.)
72. Парагвай
73. Перу
74. Польша
75. Португалия
76. Руанда (20 ноября 1976 г.)
77. Румыния
78. Сальвадор
79. Самоа
80. Сан-Марино* (5 марта 1972 г.)
81. Свазиленд
82. Сенегал
83. Сент-Люсия (29 июня 1981 г.)
84. Сьерра-Леоне* (26 августа 1976 г.)
85. Сингапур
86. Сирийская Арабская Республика (5 марта 1972 г.)
87. Сомали (5 марта 1972 г.)
88. Судан
89. Суринам
90. Таиланд
91. Того (5 марта 1972 г.)
92. Тонга* (7 января 1973 г.)
93. Тувалу (19 июля 1980 г.)
94. Тунис (5 марта 1972 г.)
95. Турция (17 октября 1981 г.)
96. Уругвай
97. Филиппины
98. Финляндия
99. Фиджи
100. Центральноафриканская Республика (25 апреля 1972 г.)
101. Чад (10 сентября 1972 г.)
102. Чехословакия
103. Швейцария
104. Швеция
105. Шри-Ланка* (5 сентября 1980 г.)
106. Эквадор
107. Эфиопия
108. Югославия
109. Ямайка
110. Япония
- [111. "Китайская Республика" – 5 марта 1972 г.]
"Китайская Республика" ратифицировала Договор о нераспространении.

Изменения по сравнению с предыдущим бюллетенем:

Египет присоединился к Договору о нераспространении 26 февраля 1981 года.

Примечание:	Жирный шрифт: государства, с которыми соглашения о гарантиях в связи с Договором о нераспространении вступили в силу.
	Курсив: государства, с которыми соглашения о гарантиях в связи с Договором о нераспространении не вступили в силу.
	*: соглашение о гарантиях одобрено Советом управляющих МАГАТЭ и ожидает вступления в силу.