

ПРОИЗВОДСТВО ПЛУТОНИЯ В СЕВЕРНОЙ КОРЕЕ

Дэвид Олбрайт

В 1992 году КНДР в соответствии со своими обязательствами по Договору о нераспространении ядерного оружия объявила, что она выделила ранее около 100 граммов плутония из поврежденных топливных стержней, извлеченных из газо-графитового реактора с тепловой мощностью 25 мегаватт в Йонбене. Плутоний был выделен в расположенной поблизости "Радиохимической лаборатории". Выделенный плутоний является исходным материалом для производства ядерного оружия, но 100 граммов слишком немного для того, чтобы изготовить даже грубую атомную бомбу.

После инспекции установок КНДР Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) пришло к выводу о том, что КНДР выделило больше плутония, чем сообщило агентству. Тем не менее, МАГАТЭ не могло сказать, в чем измеряется разница, в граммах или в килограммах. На основании информации, полученной от разведывательных агентств и от инспекторов МАГАТЭ, КНДР могла выделить от 6 до 13 килограммов плутония оружейного качества, достаточного для изготовления одного или даже двух ядерных боеприпасов.

Весной 1994 года КНДР разгрузила реактор с мощностью 25 тепловых мегаватт. Наши наилучшие оценки содержания плутония в его отработанном топливе составляют 25 ± 8 килограммов, в зависимости от того, как управляли реактором, и как долго облучалось топливо. Если этот плутоний будет выделен, то его хватит на четыре или пять ядерных устройств. Однако, по крайней мере до начала октября КНДР выполняла свое июньское обещание США не выделять плутония и не перезагружать реактора.

КНДР строит еще два газо-графитовых реактора. Если они будут закончены, то эти реакторы увеличат возможности производства плутония оружейного качества по крайней мере в десять раз. Из-за опасности, представляемой плутониевой программой КНДР, США предпочитает, чтобы КНДР закрыла завод по разделению плутония и остановила строительство своих газо-графитовых реакторов в обмен на поставку двух легководных реакторов. Эти реакторы более устойчивы к распространению ядерного оружия, чем газо-графитовые реакторы и связанный с ними завод по выделению плутония.

Автор работает в Институте по научной и международной безопасности, Вашингтон, О.К. Сокращенная и менее техническая версия этой статьи была опубликована в *Bulletin of Atomic Scientists*, September/October 1994. Переработанная версия появится в *World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium, 1995* (в печати весной 1996 года).

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько лет мировое сообщество было озабочено ядерной активностью КНДР. В 1993 году ЦРУ США допустило утечку информации о том, что КНДР может обладать достаточным количеством плутония для изготовления одной или двух атомных бомб. Вскоре после этого многие другие аналитики опубликовали аналогичные оценки.

Тем не менее, эти оценки могут быть завышенными из-за того, что никто не желает недооценить количества плутония, которым может обладать КНДР, или неверно приписать этот плутоний гражданским приложениям. Мало кто сомневается в том, что КНДР намерено произвести большое количество плутония для ядерного оружия, но неизвестно, как много плутония было сделано. Определение реальной ситуации не будет простым, и оно потребует значительно большей информации от КНДР.

ПОЯВИЛСЯ РЕАКТОР ВНЕ КОНТРОЛЯ

Подозреваемый плутоний мог появиться из сильно засекреченной ядерной программы, которая началась в 70-х годах вне каких-либо международных инспекций. В ответ на опасения Запада по отношению к этому реактору Россия с успехом оказала давление на КНДР для того, чтобы она подписала Договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО), что она и сделала 12 декабря 1985 года. Международный интерес к этому быстро затих, даже после начала эксплуатации реактора в 1986 году. Однако в 1989 году в прессе появились сообщения о том, что в Йонбене имеется длинное узкое строение, которое, как подозревалось, могло быть заводом для выделения плутония¹. Хотя плутоний образуется в ядерных реакторах, он должен быть отделен от облученного топлива на специальных установках до того, как он сможет использоваться в ядерном оружии. Поэтому ЦРУ предположило, что КНДР сначала произвела плутоний в небольшом реакторе, выгрузила большую часть топлива из ак-

тивной зоны и впоследствии выделила плутоний из топлива на заводе разделения.

После этого появились сообщения о том, что КНДР строит также значительно больший газо-графитовый реактор для производства плутония в Йонбене². В этих сообщениях указывалось также на площадке для испытания взрывчатых веществ в Йонбене, которая, как подозревалось, могла быть частью рудиментарной программы разработки ядерного оружия (для создания ядерного оружия с плутонием необходима широкая программа испытаний с взрывчатыми веществами).

Ситуация осложнилась тем, что КНДР постоянно отказывалась разрешить Международному агентству по атомной энергии (МАГАТЭ) проводить инспекцию всех видов ее ядерной деятельности, как это предусмотрено ДНЯО. После нескольких лет дипломатических увязок МАГАТЭ и КНДР наконец подписали соглашение об гарантиях 30 января 1992 года. Оно вступило в силу 10 апреля 1992 года и тогда казалось, что политический кризис наконец был преодолен.

НАЧАЛЬНЫЕ ОБЪЯВЛЕНИЯ ГАРАНТИЙ

4 мая 1992 года КНДР предоставила МАГАТЭ начальный доклад о всех ядерных материалах, относящихся к гарантиям. Одной из первых задач инспекций МАГАТЭ была проверка информации в начальных объявлениях КНДР и оценка их полноты.

Генеральный директор МАГАТЭ Ганс Бликс возглавил делегацию, находившуюся в КНДР с 11 по 16 мая 1992 года. Среди первых посещенных делегацией площадок был незаконченный завод разделения плутония в Йонбене, называемого в КНДР "Радиохимической лабораторией". Официальные представители ядерной отрасли КНДР заявили, что на этой установке в течение одной кампании весной 1990 года было выделено около 100 граммов плутония. Они заявили также, что этот плутоний был выделен из нескольких поврежденных топливных стержней, вынутых из малого реактора. Внешняя металличе-

ская упаковка топлива ("покрытое") была повреждена во время работы реактора и поэтому это топливо было изъято из активной зоны.

После своего визита Бликс сообщил, что Радиохимическая лаборатория была закончена на 80 процентов, но было установлено всего лишь 40 процентов оборудования¹⁰. Официальные представители КНДР сообщили МАГАТЭ, что остальное оборудование заказано, но еще не поставлено. Бликс сказал, что если бы лаборатория была закончена, то "я бы не сомневался, что ее следует по нашей терминологии рассматривать как завод по переработке"¹¹.

Во время первого визита официальные представители КНДР также сообщили МАГАТЭ, что их ученые впервые выделили несколько граммов плутония в 1975 году в лаборатории производства изотопов. Этот плутоний был произведен на поставленном из России исследовательском реакторе ИРТ, который начал работу в 1977 году и был помещен под гарантии МАГАТЭ в 1977 году.

Делегация МАГАТЭ посетила также три газографитовых реактора, два из которых еще не были закончены. В Йонбене делегация МАГАТЭ посетила малый действующий реактор с тепловой мощностью 20 - 30 МВт и строящийся реактор с оцениваемой тепловой мощностью в 200 МВт. В Тэчоне (провинция Северный Пхеньян) они посетили строительную площадку реактора с оцениваемой тепловой мощностью в 600 - 800 МВт. В КНДР МАГАТЭ сообщили, что все три реактора входят в программу производства электроэнергии, и отождествляли эти реакторы по их электрической мощности в 5, 50 и 200 мегаватт соответственно. После визита делегации МАГАТЭ КНДР объявила о постоянно действующем приглашении официальных лиц МАГАТЭ для посещения любой установки в Северной Корее, даже если она не была включена в начальный отчет.

Возникшие несоответствия

С лета 1992 года МАГАТЭ начало обнаруживать несоответствия в начальных объявлениях КНДР. В частности, МАГАТЭ стало подозревать, что объявленное количество плутония меньше того, которое на самом деле было произведено в Радиохимической лаборатории.

Во время первой инспекции Радиохимической лаборатории сотрудники МАГАТЭ собрали образцы выделенного плутония, материала, осевшего на стенках устройств различных стадий выделения и различных типов ядерных отходов, образовавшихся на различных стадиях процесса выделения. Представитель МАГАТЭ сообщил, что операторы завода хотели взять образцы отходов, временно хранившихся на заводе, но технически не были готовы к этому. Когда инспекторы попросили образцы высокоактивных отходов с продуктами деления, северокорейские техники начали импровизировать с доступом к отходам. Представители КНДР сообщили МАГАТЭ, что при этой операции некоторые операторы завода получили избыточные дозы радиации.

Образцы анализировались в лабораториях МАГАТЭ в Зайбельсдорфе, Австрия, и в привлеченных МАГАТЭ лабораториях в Западной Европе и США. Эти анализы выявили несоответствия начальным объявлениям КНДР и возбудили опасения того, что в КНДР было выделено больше плутония.

Один набор анализов противоречил объявлению КНДР о том, что плутоний выделялся только в одной кампании в 1990 году. При анализе были измерены количества америция-241 в образцах, соскобленных со стенок "горячих" камер с перчатками в конце процесса разделения, в которых проходились работы со свежеекспонированным плутонием. Поскольку америций-241 является продуктом распада плутония-241, то количество америция-241 в образцах может указывать на время, которое прошло с момен-

та выделения плутония. Анализ МАГАТЭ позволил предположить, что было три отдельных попытки выделения в 1989, 1990 и 1991 годах.

Второе несоответствие выявилось, когда МАГАТЭ попыталось проверить, что объявленный плутоний и отходы образовались из одних и тех же облученных топливных стержней. МАГАТЭ сравнило изотопные отношения плутония, оставшегося в нескольких образцах отходов и в "горячих" камерах с перчатками с отношениями в выделенном плутонии. Выделенный плутоний и следы плутония в образцах отходов и в "горячих" камерах должны иметь одни и те же отношения основных изотопов плутония с массовыми числами 239, 240 и 241. Было обнаружено, что доля плутония-240 в образцах отходов и в "горячих" камерах отличается от доли в выделенном материале. Это несоответствие может указывать на то, что обрабатывались дополнительные топливные стержни.

Эти изменения изотопных соотношений омылили также третье несоответствие. МАГАТЭ рассчитало, что уровень облучения топлива больше, чем это было объявлено Северной Кореей. Это несоответствие может указывать на то, что общее количество выделенного плутония больше, чем объявлено КНДР.

Инспекторы МАГАТЭ построили два возможных сценария для объяснения несоответствий. В первом предполагается, что топлива из поставленного из России исследовательского реактора было переработано больше, чем было объявлено, а во втором - что дополнительные топливные стержни были извлечены из реактора с электрической мощностью 5 МВт и переработаны в Радиохимической лаборатории, что могло выразиться в нескольких миллиграммах выделенного плутония.

Северная Корея настаивала на том, что практически вся первая загрузка активной зоны осталась в реакторе. Для того, чтобы КНДР выдольла в Радиохимической лаборатории достаточно плутония для изготовления атомной бомбы, следовало бы извлечь большую часть топлива из первой загрузки активной зоны. КНДР отвергла все обвинения МАГАТЭ и сама обвинила его в непонимании ситуации, но для поддержки своих заявлений она представила очень мало операционных записей. Например, Северная Корея заявила, что различие в изотопных отношениях плутония в образцах отходов и продукта может быть объяснено выделением плутония из исследовательского реактора ИРТ в 1975 году. КНДР заявила, что отходы от этой операции были смешаны с новыми отходами. В отношении третьего несоответствия было заявлено, что МАГАТЭ не смогло правильно учесть изменения облучения отработанного топлива, что привело к неправильной оценке производства плутония.

Некоторые представители США и МАГАТЭ полагают, что если принять объяснения КНДР по поводу работы реактора, то можно объяснить часть несоответствий. Но другие несоответствия не могут быть объяснены, в особенности те, которые связаны с измерениями в "горячих" камерах. Кроме того, разведывательные службы предоставили МАГАТЭ другую информацию, которая еще более усиливает подозрения в том, что КНДР выделит значительно больше плутония, чем было объявлено.

Подозреваемые площадки хранения отходов

Осенью 1992 года МАГАТЭ начало получать информацию от стран-участниц о необычных площадках в Йонбене, а именно, о двух замаскированных местах хранения ядерных отходов. Более того, согласно представителю США, эта информация показывала, что эти площадки были замаскированы незадолго до начала инспекций МАГАТЭ.

МАГАТЭ захотело проверить эти две площадки

на предмет содержания радиоактивных отходов, образованных в процессе выделения плутония. Инспекции могли бы доказать, что КНДР прячет плутоний от инспекторов.

Фотографии с американских спутников, полученные в течение многих лет, показали, что объекты, которые представляются двумя замаскированными хранилищами ядерных отходов вблизи Радиохимической лаборатории, достаточно велики для того, чтобы принять большие количества жидких и твердых отходов. Один набор фотографий показывает подозрительное открытое хранилище отходов, связанных с исследовательским реактором ИРТ. На ранних фотографиях устройство объекта соответствует площадкам для отходов от исследовательских реакторов советской поставки. Такие площадки обладают характерным расположением круглых и квадратных отверстий в надземной бетонной конструкции для жидких и твердых отходов. Один из западных поставителей заявил, что она близко соответствует площадке в Ираке рядом с поставленным из СССР исследовательским реактором. Последние фотографии показали, что аналогичная площадка в Северной Корее была засыпана землей и выровнена, что эффективно скрыло ее от инспекторов и спутниковых наблюдений. Объявленная площадка для ядерных отходов расположена рядом, выглядит новой и редко используемой.

Вторая подозрительная площадка - это здание длиной в 50 метров, расположенное примерно в 150 метрах к востоку от Радиохимической лаборатории (отделенная от нее небольшой насыпью). На ранних снимках показано двухэтажное здание, но на последних фотографиях оно выглядит одноэтажным, потому что вокруг первого этажа была насыпана глина, превратившая его в подвал. На фотографиях видны также две траншеи, соединяющие Радиохимическую лабораторию со зданием, что позволяет предположить наличие трубопроводов между зданиями. МАГАТЭ хотело бы определить, находятся ли в подвале баки с отходами от переработки из Радиохимической лаборатории.

В сентябре 1992 года, до того, как МАГАТЭ получило разведывательную информацию, инспекторы посетили одноэтажное здание, используя приглашение КНДР посетить необъявленные установки. Во время визита инспекторы видели одноэтажное здание, находящееся под контролем военных, но не имели представления о наличии подвала. Кроме того, у них не было никакого оборудования, которое помогло бы им обнаружить скрытый подвал.

В конце 1992 и начале 1993 года МАГАТЭ несколько раз запрашивало КНДР о доступе на две потенциальные площадки хранения отходов. В случае одноэтажного здания МАГАТЭ просило о доступе в пространство под полом здания и разрешения взять образцы из-под нулевого уровня здания. Отказавшись от сделанного обещания, КНДР отказалось разрешить посетить обе площадки, объявив, что они являются неядерными военными объектами. КНДР заявило, что предлагаемые инспекции являются попыткой подтвердить шпионскую информацию и могут создать прецедент инспекции военных объектов.

В феврале 1993 года МАГАТЭ и КНДР зашли в тупик. МАГАТЭ пришло к выводу, что оно не может выполнять свои обязательства по соглашению о гарантиях по подтверждению правильности и полноты начального отчета КНДР о запасах плутония.

Специальные инспекции

Столкнувшись с отказом КНДР разрешить несоответствия, 25 февраля 1993 года Совет управляющих МАГАТЭ потребовал "специальных инспекций" двух подозрительных площадок для ядерных отходов в Йонбене и установили крайний срок в 25

марта для согласия КНДР.

12 марта 1993 года Северная Корея объявила, что она выходит из Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО) с соответствии со статьей X этого договора, которая дает подписавшим его странам право выйти из договора с предупреждением за три месяца, если высшие национальные интересы находятся под угрозой. Затем КНДР совершила резкий поворот, заявив о приостановлении своего выхода из ДНЯО в начале июня 1993 года, за несколько дней до того, как ее решение о выходе должно было вступить в силу.

В следующем году КНДР вступила в серию переговоров с МАГАТЭ и США. Эти переговоры, однако, не позволили выйти из кризиса, возобновить инспекции для гарантий или проверить начальную декларацию КНДР.

Разгрузка реактора

В апреле 1994 года КНДР объявила о том, что она выключает свой малый реактор для замоны топлива в активной зоне, которая, как было сказано, должна начаться 4 мая. Министр обороны США Уильям Перри публично заявил, что в этой активной зоне содержится количество плутония, достаточное для создания четырех или пяти атомных бомб.

12 мая КНДР информировала МАГАТЭ о том, что она уже начала разгрузку реактора без гарантийных мер, требуемых агентством, что инициировало новый кризис. МАГАТЭ хотело наблюдать разгрузку активной зоны, чтобы убедиться в том, что КНДР не переключает топливо на другие цели. Оно хотело также получить несколько сотен облученных топливных стержней из разных точек активной зоны, чтобы определить, находилось ли топливо в активной зоне с момента пуска реактора в 1986 году, как это утверждалось КНДР.

Хотя КНДР решило разрешить МАГАТЭ присутствовать при окончании разгрузки топлива, оно отказалось разрешить выбрать топливные стержни для дальнейших измерений. Во время консультаций в Пхеньяне 25 - 27 мая КНДР предложило МАГАТЭ выбрать стержни после того, как они будут помещены в бассейн отработанного топлива. Инспекторы МАГАТЭ отказались от этого предложения, так как в этом случае они не могли знать, из какой секции активной зоны взяты стержни. МАГАТЭ заявило, что "без такого отождествления все дальнейшие измерения будут бесполезными и способность агентства установить отсутствие переключения на другие цели будет потеряна".

В письме членам Совета Безопасности ООН от 27 мая Бликс доложил, что "операции по разгрузке топлива из активной зоны проводятся с очень высокой скоростью, не согласующейся с ранее переданной агентству информацией". Бликс предупредил, что если разгрузка будет проводиться в том же темпе, то в течение нескольких дней способность агентства выбрать топливные стержни для дальнейших измерений в соответствии со стандартами МАГАТЭ будет утеряна.

Ранее КНДР объявляло МАГАТЭ, что для разгрузки реактора по плану требуется два месяца. Некоторые представители МАГАТЭ и США считали, что для разгрузки северокорейского реактора потребуется еще больше времени. Однако, Бликс отметил в своем письме от 27 мая, что в КНДР уже разгружено больше половины активной зоны. Газета "Вашингтон Пост" в статье от 1 июня отметила, что в КНДР используется новая, более быстрая разгрузочная машина, не известная американской разведке ранее. Представитель МАГАТЭ заявил, что машина была доставлена на реактор за несколько недель до начала разгрузки. Другой представитель МАГАТЭ сказал, что разгрузка реактора проводится 24 часа в сутки.

МАГАТЭ объявило 2 июня, что быстрая разгрузка делает невозможным выбор топливных стержней, нужных для дальнейших измерений. В письме Совету Безопасности от 2 июня Блике написал, что способность МАГАТЭ обнаружить переключение плутония в прошлом "значительно понизилась". Он добавил, что из-за отказа КНДР разределить специальные инспекции подозреваемых хранилищ отходов и разгрузки активной зоны реактора без требуемых МАГАТЭ верификационных мероприятий агентство "не может достичь общей цели развернутых гарантий в КНДР, а именно, обеспечить уверенность в испорклучении ядерного материала".

Из-за действий КНДР правительство США объявило 3 июня, что оно прекращает двусторонние переговоры с КНДР и переходит к требованию санкций Совета Безопасности ООН. Однако, в течение недели США боролись за разработку резолюции по санкциям, которая могла бы преодолеть противодействие КНР и Японии. В результате США перешло к другой политике поиска поддержки постепенному усилению санкций. Однако, голосование в Совете Безопасности не могло состояться ранее, чем через несколько недель.

10 июня Совет управителей МАГАТЭ перешел к наложению своих собственных санкций, проголосовав за приостановление технической помощи КНДР в размере 250 тыс. долларов в год. В ответ на это КНДР формально вышла из МАГАТЭ, что, однако, не ликвидировало ее обязательство разрешать агентству требуемые по ДНЯО инспекции. Несмотря на увеличение напряженности, КНДР разрешило инспекторам МАГАТЭ продолжать свои наблюдения за отработанным топливом. К этому времени почти все топливо было выгружено из реактора и перемещено в расположенный поблизости бассейн для хранения отработанного топлива.

Опасаясь, что экономические санкции только увеличат вероятность войны на Корейском полуострове, бывший президент США Джимми Картер выехал в КНДР для посредничества с Ким Ир Сеном для окончания кризиса. Непосредственным результатом персональной дипломатии Картера и Ким Ир Сена было возобновление переговоров.

После визита Картера президент Клинтон объявил 22 июня, что КНДР согласилась "заморозить" свою ядерную программу, что фактически закончило противостояние по этому кругу вопросов. В ответ, заявил Клинтон, США остановят свои усилия по наложению санкций на КНДР и возобновят двусторонние переговоры по разрешению ядерных вопросов.

Объявленное КНДР замораживание включало обязательство не перезагружать свой малый реактор свежим топливом и не перерабатывать выгруженное топливо, пока продолжаются переговоры. Кроме того, КНДР согласилась на то, что инспекторы МАГАТЭ останутся в Йонбене для подтверждения отсутствия перезагрузки или переработки. КНДР согласилась также поддерживать "непрерывность гарантий" (такое обязательство она давала в прошлом несколько раз), но не согласилась разрешить МАГАТЭ определить, происходило ли в прошлом переключение плутония на другие цели.

Внезапная смерть Ким Ир Сена 8 июля осложнила ситуацию. Тем не менее, 12 августа США и КНДР заключили соглашение о том, что: 1) подтверждается обязательство КНДР о замораживании ядерной программы до тех пор, пока продолжаются переговоры; 2) принимается перечень элементов, которые должны быть включены в любое окончательное разрешение ядерных вопросов. Эти элементы таковы: замена двух больших газо-графитовых реакторов на современные, более устойчивые к распространению легководные реакторы, финансируемые с западной помощью, прекращение переработки, контролируемое опечатывание Радиохимической лаборатории и

продолжение участия в ДНЯО⁴.

Несмотря на то, что трения были ослаблены, в конце сентября до реализации окончательного решения было еще далеко. КНДР все также не доверяло ни США, ни Южной Корее. После смерти Ким Ир Сена организованная Картером встреча между руководителями Северной и Южной Кореи отложилась на неопределенное время, похоронив надежду на быстрое уменьшение трений на полуострове. Решение вопроса о прошлом выделении плутония в КНДР не стало ближе, несмотря на объявленное решение КНДР оставаться в ДНЯО. Поскольку недавно выгруженное топливо трудно хранить безопасно, технические причины могут помешать КНДР длительное время выполнять свое обещание об отказе от переработки. Точно так же, потребности в электроэнергии могут заставить Северную Корею загрузить малый реактор.

РЕАКТОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛУТОНИЯ

В конструкции малого действующего реактора и двух строящихся реакторов применяется охлаждение углекислым газом и графитовый замедлитель. На Западе такой тип реактора называют реактором "Магнокс" или газо-графитовым реактором.

В 50-х годах такие реакторы разрабатывались в Англии и Франции для производства плутония для ядерного оружия и для производства электроэнергии. Информация о конструкции таких реакторов в основном засекретна и построить их сравнительно легко. Похоже, что КНДР способна построить такие реакторы без существенной иностранной помощи.

Недостатком реакторов такого типа является то, что выгружаемое из него облученное топливо, как правило, требует выделения плутония. Трудно обеспечить безопасное хранение отработанного топлива или его захоронение в геологическом депозитарии. Внешняя оболочка топлива северокорейского реактора изготовлена из магниевого сплава. Такое покрытие разрушается при контакте с влажностью и может произойти утечка радиоактивного содержимого. При некоторых условиях может произойти спонтанное возгорание металлического урана при контакте с воздухом. Если топливо загорится, то значительная часть радиоактивных материалов будет выброшена в окружающую среду (см. статью "Корродирующее топливо Северной Кореи" в этом выпуске).

Реактор с тепловой мощностью 20 - 30 Мвт

Строительство реактора в Йонбене началось в 1980 году, и реактор вступил в строй в 1986 году⁵. Оценки полной тепловой мощности колеблются от 20 до 30 МВт, и в последующих обсуждениях мы будем принимать среднее значение в 25 МВт. Согласно заявлениям американских представителей, в первые годы эксплуатации на реакторе наблюдались некоторые начальные проблемы, но в 1990 - 1991 годах реактор работал с мощностью от 20 до 30 МВт. Один из представителей добавил, что американские разведывательные агентства не знают точно, с какой мощностью реактор работал в первые годы эксплуатации.

Реактор производит плутоний оружейного качества. Несмотря на то, что топливо находится в реакторе несколько лет, общее облучение выгружаемого топлива невелико. Тем не менее, топливо облучалось достаточно долго для того, чтобы обеспечить производство плутония оружейного качества в количестве, оправдывающем переработку. Уровень облучения измеряется в терминах "выгорания топлива", или полного количества энергии, извлеченной из тонны топлива. Единицей измерения является мегаватт-день на тонну топлива (МВт-день/т).

Перед выгрузкой топлива северокорейский реактор должен быть выключен. До разгрузки в активной зоне реактора находилось около 48 тонн топлива из природного урана. Топливо изготовлено в форме коротких стержней длиной около 50 см и диаметром 3 см; масса стержня составляет 6,2 кг. В активной зоне содержится около 7 700 стержней, расположенных в 812 каналах. В каждом канале может находиться до 10 стержней, расположенных один над другим. Согласно сообщению американского представителя, реактор был рассчитан на загрузку примерно 8 000 стержней, но находящееся в нем количество меньше расчетного из-за того, что поврежденные стержни были извлечены ранее. Разгрузочная машина перезагружает топливо сверху реактора.

Оценка максимально возможного производства плутония. Ежегодное производство плутония в реакторе такого типа может быть определено по следующей формуле:

$$M_{Pu} = P \cdot C \cdot 365 \text{ суток} \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}$$

где P - тепловая мощность реактора в МВт, C - коэффициент скважности, представляющий отношение полной ежегодной выработки тепла к той выработке, которая могла бы быть получена при непрерывной работе. Это отношение часто понимают как долю года, в течение которой реактор работал на полной мощности. Последний множитель представляет собой стандартный коэффициент преобразования плутония для газо-графитового реактора для плутония оружейного качества (менее 6 - 7 процентов плутония-240 и плутония-242). Этот коэффициент может меняться примерно на 10 процентов в зависимости от конкретного изотопного состава плутония оружейного качества⁶. Плутоний оружейного качества соответствует степени выгорания, меньшей, чем примерно 800 - 1000 МВт-день/т.

С помощью этой формулы можно получить максимальную оценку произведенного плутония, предполагая, что реактор работал на полной мощности в течение 80 процентов всего времени. Вероятно, что такая работа является максимумом возможного на этом реакторе. Реальное время работы может быть значительно меньшим, в особенности во время начального периода.

При работе на тепловой мощности в 25 МВт при скважности в 80 процентов из этого уравнения следует, что реактор может производить около 6,5 кг плутония в год. Если бы реактор работал в таком режиме в течение 8 лет (с 1986 года по весну 1994 года), он мог бы произвести 53 кг плутония оружейного качества. Для того, чтобы достичь такого объема производства, надо было бы перезагрузить реактор по крайней мере один раз до разгрузки в мае/июне 1994 года. Однако, мало кто считает, что этот реактор непрерывно работал в таком напряженном режиме.

Максимально возможная выгрузка отработанного топлива: перезарядка в 1989 году. Другой вариант оценки предполагает, что реактор был разгружен несколько лет назад, но что эффективность его работы была не столь высокой, как считалось в предыдущем варианте.

В декабре 1993 года общественность узнала о длительной остановке этого реактора, которая могла бы позволить КНДР выгрузить часть топлива (или все топливо) из активной зоны. Министр обороны Лес Эспина сказал 7 декабря в передаче "MacNeil/Lehrer News Hour", что:

"В 1989 году КНДР выключила свой реактор на 100 дней, что могло дать им достаточно времени [для извлечения некоторого топлива]... В зависимости от того, как много плутония они обрабатывали и от их возможностей собрать его вместе в бомбе, они могли бы собрать достаточ-

но плутония для бомбы, или, возможно, для бомбы и еще одной половины."

Американский представитель сказал в июне 1994 года, что заявление Эспина о 100 днях - это оценка длительности остановки реактора по порядку величины. Он сказал, что настоящая длительность остановки была заметно меньше, около 70 суток.

Оценка количества топлива (и содержащегося в нем плутония), которое могло быть выгружено в КНДР из активной зоны реактора при остановке в 1989 году, требует знания нескольких параметров. Поскольку большинство этих параметров неизвестно, любая оценка будет очень неопределенной. Наиболее важная информация заключается в том, сколько разгрузочных машин было на реакторе в 1989 году - одна или две?

Если сравнивать с английскими реакторами в Колдер Холле, то за 70-дневный период можно было бы разгрузить только половину активной зоны⁷. До последней разгрузки КНДР сообщало МАГАТЭ, что для разгрузки активной зоны необходимо два месяца. Однако, с двумя разгрузочными машинами весной 1994 года Северной Корее на разгрузку почти всего топлива понадобилось меньше месяца⁸. Эти оценки показывают, в конечном счете, что в 1989 году могло быть выгружено не менее половины активной зоны, или от 25 до 50 тонн отработанного уранового топлива.

Концентрация плутония в облученном топливе определяется из информации о средней степени выгорания. Средний уровень облучения топлива, разгруженного в 1989 году, может быть оценен из информации, собранной МАГАТЭ во время начальных инспекций Радиохимической лаборатории. Изотопный состав плутония из образцов, взятых МАГАТЭ, составляет несколько более 97,5 процента плутония-239, и, соответственно, от 2,25 до 2,5 процента плутония-240. Согласно нескрещенным исследованиям американского правительства газо-графитовых реакторов, облученное топливо с таким изотопным составом плутония должно иметь среднюю степень выгорания от 300 до 330 МВт-день/т. Топливо с такой степенью выгорания должно содержать от 0,27 до 0,30 килограммов плутония на тонну уранового топлива⁹. В последующих оценках будет использоваться среднее значение из этого интервала.

Если рассчитанные выше значения представляют среднее выгорание топлива в активной зоне в 1989 году, то в 50-тонной зоне будет содержаться около 14 килограммов плутония оружейного качества. Для того, чтобы произвести 14 килограмма плутония в активной зоне, реактор должен был работать в период с 1986 до 1989 года в течение 55 процентов времени при тепловой мощности в 25 МВт. Согласно американскому представителю, реактор в первые полтора года эксплуатации работал плохо. После это он постепенно достиг номинальной мощности.

Если в 1989 году было выгружено только 25 тонн топлива, то это топливо будет содержать около 7 килограммов плутония, предполагая, что у выгруженного топлива будет упомянутая выше степень выгорания. В этом случае выгорание топлива, остающегося в активной зоне, вероятно, будет несколько меньше, чем у выгруженного топлива. Если выгружается часть топлива, то обычно операторы реактора сначала выгружают топливо с большим выгоранием, поскольку концентрация плутония в нем выше.

Согласно американскому представителю, в этом случае средняя степень выгорания топлива в активной зоне будет всего 200 МВт-день/т. При такой степени выгорания в активной зоне будет содержаться около 10 килограммов плутония. Такое количество плутония соответствует работе реактора при тепловой мощности 25 МВт в течение 35 - 40 про-

центров времени с начала работы.

Средняя степень выгорания всего в 200 МВт/день/т согласуется с имеющейся информацией о работе реактора в первые годы. При нормальных условиях степень выгорания сильно зависит от положения топлива в активной зоне. Выгорание топлива в центре активной зоны в несколько раз больше, чем на ее периферии. Кроме того, согласно представителю МАГАТЭ, КНДР заявила, что облучение топлива в активной зоне во время первых лет эксплуатации было асимметричным. Этот представитель сказал, что расположение управляющих стержней, которое определяет нейтронный поток, или степень облучения в различных областях активной зоны, было асимметричным и уменьшило нейтронный поток на одной стороне реактора. Кроме того, химические примеси в топливе также могут привести к существенной асимметрии нейтронного потока в активной зоне. Хотя КНДР передало МАГАТЭ эту информацию, она не предоставила эксплуатационных записей, поддерживающих эти заявления.

В любом случае, на основе информации, собранной МАГАТЭ, от 25 до 50 тонн топлива, которое могло быть выгружено в 1989 году, содержали от 7 до 14 килограммов плутония оружейного качества.

Минимально возможная выгрузка отработавшего топлива. Нижняя граница количества плутония, которое могло быть выделено в КНДР из тех топливных стержней, которые были объявлены поврежденными, извлеченными и переработанными. КНДР объявила, что она обработала часть топливных стержней в Радиохимической лаборатории. Было сообщено, что в этих стержнях содержалось 0,13 килограммов плутония, из которых было выделено около 0,09 килограмма. Остаток поступил в отходы или осел на стенках оборудования. При упомянутых выше предположениях это количество плутония соответствует примерно 450 килограммам уранового топлива, или примерно 70 поврежденным топливным стержням.

Перезарядка активной зоны весной 1994 года. В апреле 1994 года КНДР вывезлино свой малый реактор для перезарядки. США и МАГАТЭ оценивают количество плутония в активной зоне от 20 до 30 килограммов плутония оружейного качества. При предыдущих оценках уровня облучения эта активная зона содержала бы от 10 до 14 килограммов плутония оружейного качества. Однако, уровень облучения топливных стержней в настоящее время считают существенно большими. Если активная зона не выгружалась, то топливо находилось в ней в течение восьми лет, что приводит к большому выгоранию. Если активная зона была заменена в 1989 году, то находящееся в ней топливо также облучено сильнее, поскольку реактор в последние годы работал более эффективно, чем до 1989 года.

Если среднее выгорание топлива достигает максимальной величины для производства плутония оружейного качества на реакторах этого типа, то оно будет примерно равным 800 МВт/день/т⁶. В этом случае в активной зоне будет содержаться около 33 килограммов плутония оружейного качества (с содержанием плутония-240 в 5,6 процента)⁶. Для производства такого количества плутония реактор должен был работать на тепловой мощности в 25 МВт в течение 1 600 полных суток. Если выгружалась активная зона первая, то реактор должен был работать на этой мощности в течение 55 процентов времени от 1986 до 1994 года. Если зона вторая, то реактор должен был работать на 25 МВт в течение 85 процентов времени с 1989 по 1994 год. Вероятно, что последняя ситуация мало реальна.

В качестве нижней границы для количества плутония в топливе можно принять оценку на базе нижнего типичного значения средней степени выгорания в реакторах такого типа, равной 400 МВт/день/т. При такой степени выгорания в активной зоне будет

находиться 17 килограммов плутония оружейного качества (с содержанием плутония-240 около 3 процентов). Для производства такого количества плутония реактор должен был работать на тепловой мощности в 25 МВт в течение 800 полных суток. Если выгруженная активная зона первая, то реактор должен был работать на этой мощности в течение 25 процентов времени от 1986 до 1994 года. Если зона вторая, то реактор должен был работать на 25 МВт в течение 45 процентов времени с 1989 по 1994 год. Оба сценария, по-видимому, недооценивают действительную производительность реактора и основаны на том, что это среднее выгорание представляет собой нижнюю границу для активной зоны. Среднее значение этих оценок соответствует 25 килограммам (выгорание 600 МВт/день/т при содержании плутония-240 в 4,3 процента). Неопределенность этой оценки примерно равна 30 процентам.

Строющиеся реакторы

Реактор с тепловой мощностью 200 МВт. В КНДР строится газо-графитовый реактор в Йонбэне с тепловой мощностью 200 МВт и электрической мощностью 50 МВт, на его будущее стало неопределенным после соглашения 8 августа о замене его и более крупного реактора на легководные реакторы. Самая ранняя возможная дата пуска — это конец 1995 года, однако министр обороны Уильям Перри заявил недавно, что для завершения реактора потребуется еще несколько лет⁷. Исторически скорость строительства менялась по разным причинам, включая доступность бюджета. Западные разведывательные агентства считают, что если КНДР решит ускорить строительство, то она сможет сделать это.

Здание реактора, согласно инспекторам, в основном закончено, но внутри осталась много работы. Согласно американскому представителю, КНДР начало устанавливать генераторное оборудование на этом реакторе прямо перед началом инспекции МАГАТЭ.

Многие аналитики считают, что поначалу КНДР намеревалась использовать этот реактор как главный источник плутония для своей программы ядерного оружия, в то время как малый реактор должен был предоставить плутоний только для самых первых образцов оружия. Используя предыдущие формулы, можно оценить, что реактор с тепловой мощностью 200 МВт, работающий на полной мощности от 60 до 80 процентов времени, может производить от 40 до 53 килограммов плутония оружейного качества в год. Это количество достаточно для изготовления от 8 до 10 единиц оружия импlosionного типа в год. Однако, степень неопределенности этой оценки велика.

Реактор с тепловой мощностью 600 - 800 МВт. КНДР может также закончить газо-графитовый реактор аналогичной конструкции с электрической мощностью 200 МВт в Тонэе. В 1992 году МАГАТЭ было сказано, что этот реактор может быть окончен в 1996 году⁸. Тепловая мощность этого реактора оценивается в 600 - 800 МВт. В дальнейшем обсуждении она будет приниматься равной 700 МВт. Если реактор будет работать для производства плутония оружейного качества со сжиганием от 60 до 80 процентов, то он может произвести от 140 до 150 килограммов плутония оружейного качества в год.

Однако, мало кто считает, что этот реактор предназначен для производства плутония для ядерного оружия. Этот реактор, вероятно, был оптимизирован для производства электроэнергии, что означает, что он будет производить плутоний реакторного качества. Тем не менее, он может служить запасным промышленным реактором, если другие реакторы не производят достаточного количества плутония оружейного качества. Если этот реактор оптимизирован для производства электроэнергии и

скважность его работы составит от 60 до 80 процентов, то он сможет производить от 90 до 120 килограммов плутония (с содержанием плутония-239 в 76 процентов) в год¹⁰. В этом случае производство плутония будет меньше, поскольку топливо облучается большим числом нейтронов, что приведет к значительному количеству делений ядер плутония.

Как много плутония смогут произвести реакторы в КНДР в будущем?

Количество плутония, которое КНДР сможет накопить в будущем, в основном зависит от того, когда будут закончены и начнут надежно работать два ее больших газо-графитовых реактора. Следующая оценка будущего накопления плутония в КНДР предполагает, что будут работать все три северокорейских реактора.

Самая прямая экстраполяция основана на предыдущем уравнении, которое связывает ежегодное производство плутония с мощностью реактора, фактором скажнности и фиксированным фактором преобразования плутония. В этой оценке фактор скажнности для каждого реактора принимался равным 60 процентам. Эта величина близка к средней исторической величине для всех коммерческих газо-графитовых реакторов в мире.

Эта экстраполяция предполагает также, что строящийся реактор с тепловой мощностью 200 МВт начнет работать в 1997 году, а реактор с мощностью 600 - 800 МВт начнет работать в 1998 году. В обоих случаях даты пуска несколько позже тех, о которых сообщалось МАГАТЭ в 1992 году. Предполагалось, что в течение трех первых лет их работы мощность реакторов будет линейно расти со временем до достижения полной мощности.

Для реакторов с тепловой мощностью в 25 и 200 МВт качество плутония считалось оружейным. При факторе скажнности в 60 процентов эти реакторы будут ежегодно производить по 5 и 40 килограммов плутония оружейного качества соответственно. Мощность самого большого реактора принималась равной 700 МВт, а производство плутония реакторного качества составит около 90 килограммов в год.

Таблица 1 показывает, что до 2010 года КНДР может произвести около 1 700 килограммов плутония. Если рассматривать только два меньших реактора, то производство плутония оружейного качества до 2010 года составит 625 килограммов, чего будет достаточно для 125 единиц ядерного оружия.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЛУТОНИЯ

Производство плутония - только первый шаг в изготовлении ядерного оружия. Плутоний должен быть химически отделен от облученного топлива. Во время обработки некоторая часть плутония может быть потеряна в отходах. КНДР работала над разделением плутония в течение многих лет и поэтому знания по химии плутония должны быть обширными.

Ранние усилия

Директор МАГАТЭ Бликс сообщил Комиссии по иностранным делам палаты представителей Конгресса США 22 июля 1993 года, что КНДР "в течение многих лет делал эксперименты, в которых идентифицировался плутоний". Американские представители сообщали, что ранние лабораторные эксперименты в КНДР производились в "горячих камерах" - защищенных свинцом комнатах с дистанционно управляемым оборудованием для исследования и обработки радиоактивных материалов. СССР поставил горячие камеры в 60-х и 70-х годах в рамках договора о поставке исследовательского реактора ИРТ.

Согласно представителям МАГАТЭ, КНДР устно заявила МАГАТЭ, что они выделили несколько граммов плутония из облученного топлива реактора ИРТ в 1975 году до того, как МАГАТЭ поставило этот реактор под гарантии в 1977 году.

КНДР сообщила МАГАТЭ во время их первого визита в мае 1992 года, что они перешли от лабораторных экспериментов к заводу промышленного масштаба без строительства полупромышленной установки. КНДР сообщила также, что они часто применяют такую практику в своем промышленном развитии. Несмотря на то, что официальные лица считают, что Северная Корея могла сразу перейти от горячих камер к промышленному производству, остаются вопросы об истории развития программы выделения плутония в Северной Корее. В частности, некоторые считают, что КНДР эксплуатировала полупромышленную установку, которую не сумели обнаружить ни МАГАТЭ, ни разведывательные службы.

Радиохимическая лаборатория

Строящийся в Йонбэе завод для выделения плутония довольно велик - это шестизэтажное здание длиной в 180 метров. Американские представители считают, что этот завод после достижения проектной мощности теоретически может перерабатывать до нескольких сотен тонн отработанного топлива в год. Считают, что его окончательная мощность достаточна для обработки всего отработанного топлива от трех газо-графитовых реакторов.

Подозревают, что КНДР получила важную технологию из-за рубежа. Сообщают, что основные сведения о химии и технологии переработки были получены от России и, возможно, Китая, много лет назад. Инспектор заявил, что Радиохимическая лаборатория похожа на Еврохимический перерабатывающий завод, эксплуатировавшийся в Бельгии с 1966 года по середину 70-х годов. Информация об этом заводе в основном была несекретной.

Сообщалось, что некоторые реактивы для переработки поступали из-за границы. 2 апреля 1994 года "Вашингтон Пост" сообщила, что КНДР получила баки из нержавеющей стали из Японии. Полагают также, что КНДР импортировала свинцовое стекло для горячих камер и цирконий для покрытия топлива.

Несмотря на эти зарубежные поставки, мало вероятно, что КНДР сильно зависела от импорта при строительстве своих газо-графитовых реакторов и установок для разделения плутония, как такие страны, как Ирак. Северная Корея ценит самостоятельность и испытывает серьезный недостаток средств.

Первая линия. В 1992 году в лаборатории действовала одна "линия" с оборудованием для растворения топлива, выделения и очистки плутония. Согласно одному инспектору, в конце 1992 года заводское оборудование для редуцирования отходов еще не было закончено.

Информации о текущей производительности первой линии обработки отработанного топлива мало, но большинство считает, что производительность достаточно велика для того, чтобы обработать все топливо из активной зоны малого реактора до начала инспекций. Предварительная оценка годовой номинальной производительности этой линии может быть определена в предположении, что размеры первой линии были выбраны из требования обработки всего топлива из реакторов с тепловой мощностью в 25 и 200 МВт. Для определения номинальной или максимальной мощности первой линии были сделаны следующие предположения:

- реакторы производят плутоний оружейного качества;
- реакторы работают со скажностью 80 процентов;

Таблица 1
Оценка общего производства плутония в Северной Корее в трех газо-графитовых реакторах¹

| Год | 25 МВт _т /5 МВт _{эл} (кг) | 200 МВт _т /50 МВт _{эл} (кг) | 700 МВт _т /200 МВт _{эл} (кг) | Всего (кг) |
|------------|--|--|---|---------------|
| конец 1994 | 25 ² | - | - | 25 |
| 1995 | 30 | - | - | 30 |
| 1996 | 35 | - | - | 35 |
| 1997 | 40 | 13 | - | 53 |
| 1998 | 45 | 40 | 30 | 115 |
| 1999 | 50 | 80 | 90 | 220 |
| 2000 | 55 | 120 | 180 | 355 |
| 2001 | 60 | 160 | 270 | 490 |
| 2002 | 65 | 200 | 360 | 625 |
| 2003 | 70 | 240 | 450 | 760 |
| 2004 | 75 | 280 | 540 | 895 |
| 2005 | 80 | 320 | 630 | 1030 |
| 2006 | 85 | 360 | 720 | 1165 |
| 2007 | 90 | 400 | 810 | 1300 |
| 2008 | 95 | 440 | 900 | 1435 |
| 2009 | 100 | 480 | 990 | 1570 |
| 2010 | 105 | 520 | 1080 | 1705 |

¹ В таблице приводится оценка полного производства плутония. Предполагается, что из реакторов с тепловой мощностью 25 и 200 МВт выгружается плутоний оружейного качества, а из реактора с тепловой мощностью 700 МВт – плутоний реакторного качества.

² Любым плутонием, выгруженным до 1994 года, пренебрегается.

- линия переработки достаточно велика, чтобы работать со степенью выгорания всего в 400 МВт-ленн/т, соответствующей максимальному выходу отработанного топлива на реактор.

В этом сценарии линия должна быть способна переработать в среднем 160 тонн топлива в год¹. Если эта оценка верна, то первая линия должна была переработать недавно выгруженные из малого реактора 48 тонн топлива всего за 3,5 месяца. Эта оценка представляет минимально возможное время для переработки топлива. Реальная мощность завода может быть значительно меньше, и в этом случае заводу потребуется больше времени для переработки этого количества топлива.

При ожидаемой степени выгорания в 600 МВт-денн/т номинальная мощность первой линии составит 110 тонн в год. В этом случае линия сможет переработать все недавно выгруженное топливо примерно за пять месяцев.

Но один процесс переработки плутония не может быть эффективен на 100 процентов. Хотя КНДР объявила о выделении 90 граммов плутония, она объявила также, что на разных стадиях потока отходов было потеряно около 40 граммов. Потери 30 процентов плутония велика, но возможна на первых этапах эксплуатации завода. Однако, операторы могли понизить потери плутония на заводе. Поэтому при наших оценках худшего варианта мы считали, что потери плутония в Радиохимической лаборатории будут равны всего 10 процентам.

Вторая линия. МАГАТЭ впервые узнало о второй линии во время начальных инспекций в 1992 году. Во время инспекции МАГАТЭ в марте 1994 года инспекторы были удивлены, увидев почти законченную вторую линию разделения в Радиохимической лаборатории². Северная Корея не разрешила инспекторам адекватно контролировать Радиохимическую лабораторию с осени 1993 года. Тем не менее, инспекторы МАГАТЭ не думают, что там вело достаточно активное строительство.

Согласно представителям МАГАТЭ, во время инспекции в марте были установлены стальные конструкции, но не оборудование. Представители разведки США заявили летом 1994 года, что на второй линии выделение плутония не произошло.

Вторая линия практически аналогична первой и

поэтому когда она будет закончена, производительность завода по выделению практически удлинится, чего будет достаточно для реактора с тепловой мощностью 600 – 800 МВт. С другой стороны, вторая линия может использоваться в качестве резерва для первой на случай аварии. В последние заводы по выделению плутония такая мера предосторожности обычна.

СКОЛЬКО ПЛУТОНИЯ ЕСТЬ У СЕВЕРНОЙ КОРЕИ?

Плутоний из активной зоны, цитирующийся выгруженной в 1989 году. Нижняя оценка количества выделенного плутония равна объявленным КНДР 100 граммам. Наиболее надежная верхняя оценка лежит в пределах от 7 до 14 килограммов плутония оружейного качества из топлива, которое могло быть выгружено из активной зоны 25-мегаваттного реактора в 1989 году. В этом случае топливо могло быть переработано в период между 1989 и 1991 г.г. с выделением большей части плутония.

Для изготовления ядерного оружия требуется около 10 килограммов выделенного плутония оружейного качества. Это количество примерно вдвое превышает то, которое содержится в устройстве, поскольку плутония теряется на каждой стадии процесса производства. Одна, большая часть потерянного плутония может быть возвращена. КНДР может иметь количество плутония, достаточное для производства одной или двух единиц ядерного оружия.

Плутоний из активной зоны, выгруженной весной 1994 года. Независимо от того, разгрузила КНДР больше топлива, чем она объявила МАГАТЭ, или нет, в отработанном топливе, выгруженном весной 1994 года, содержится предположительно 25 килограммов (± 30 процентов) плутония оружейного качества.

В этом отработанном топливе КНДР содержится достаточно для четырех или пяти атомных бомб количество плутония. Однако, этот плутоний находится в отработанном топливе и прежде чем использоваться в оружии, должен быть выделен. В сентябре 1994 года МАГАТЭ и некоторые другие правительства были уверены, что этого не произошло.

КНДР может переработать это топливо почти

так же быстро, как оно может быть выгружено из реактора, если это топливо не было выдержано в реакторе до высокой степени выгорания. В идеальном случае они будут выдерживать его в течение двух-трех месяцев для того, чтобы короткоживущие нуклиды могли распасться. В противном случае обработка топлива может представлять риск радиоактивного облучения персонала и населения в прилегающих районах. Однако, иногда правительства пренебрегают этим риском. Например, в 1949 году США перерабатывали топливо из Ханфордского реактора для производства плутония оружейного качества всего через пять дней после его выгрузки из реактора. Руководство решило не информировать население прилегающих районов о выбросах радиации.

СОЗДАЛА ЛИ СЕВЕРНАЯ КОРЕЯ ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ?

ЦРУ ни подтверждает, ни отрицает того, что КНДР имеет ядерное взрывное устройство, но они уверены в том, что северокорейские ученые не прошли подготовку по технологии ядерного оружия ни в России, ни в Китае. По оценкам ЦРУ, у КНДР может быть только импровизированное устройство первого поколения. По его оценке, масса устройства, лежащего в возможностях КНДР, должна превышать 500 килограммов, но будет меньше 1000 килограммов.

Несмотря на малое количество прямой информации, представители разведки США полагают, что в Северной Корее имеются секретные площадки для производства ядерного оружия, и некоторые указания подтверждают это мнение.

Одно указание связано с испытанием северокорейских взрывчатых веществ в Йонбене. Представители КНДР объяснили МАГАТЭ, что они используют взрывы для штамповки металлов. Это правдоподобно, потому что в некоторых странах такая технология используется в тех случаях, когда невозможно применить обычные способы штамповки. Однако, сообщалось также, что КНДР проявляла интерес к закупке приборов для проведения ядерных испытаний, связанных с программой ядерного оружия. Обычно в таких испытаниях применяются взрывчатые вещества.

Мало известно о том, каким образом КНДР может доставить ядерное оружие. Доставка на самолете возможна, но противоздушная оборона в Северной Азии сильна и может представить серьезную угрозу для любого северокорейского самолета. Однако, КНДР может доставить ядерное оружие на корабле или на автомобиле.

По оценкам ЦРУ, северокорейское устройство не может быть установлено на ракете SCUD, но может быть размещено на разрабатываемой сейчас в КНДР ракете "Нодонг". Дальность этой ракеты, впервые испытанной в полете в конце мая 1993 года, может превышать, по оценкам, 1000 километров. Однако, сообщают, что по развешиванию этой ракеты должно пройти еще несколько лет.

ВЫВОДЫ

На основе разведывательных сообщений и инспекций МАГАТЭ, Северная Корея могла выделить достаточно плутония для ядерного оружия. Независимо от того, было ли так на самом деле, нет сомнений в том, что КНДР имеет плутоний в отработанном топливе в количестве, достаточном для изготовления четырех или пяти атомных бомб. Она не может направить этот плутоний на изготовление ядерного оружия до тех пор, пока не выделит плутоний из отработанного топлива. Сдерживание КНДР от выделения любого дополнительного плутония должно оставаться поэтому глобальной задачей. МАГАТЭ должно также иметь возможность про-

верить предыдущую ядерную деятельность КНДР и определить количество плутония, которое могло быть скрыто выделено в КНДР в прошлом.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЛУТОНИЯ

Для того, чтобы проверить заявление КНДР о том, что она выделяла плутоний в Радиохимической лаборатории только один раз в течение короткого периода в 1990 году, МАГАТЭ применило новую методику гарантий, разработанную для применения в Ираке после войны в Персидском заливе. Этот анализ частиц позволяет обнаружить исключительно малые количества распадающихся материалов, вплоть до нескольких фемтограммов (10^{-15} г) плутония.

В Северной Корее подход заключался в сборе образцов "соскоба" в Радиохимической лаборатории, где обрабатывался свежеработанный плутоний. В этих частях завода располагались "горячие камеры". Инспекторы брали образцы с внутренних стенок горячих камер (где рабочие превращали раствор плутония в окисел) и из помещений рядом с этими камерами. Образцы посылались в страны-участницы для анализа.

Техника верификации основана на радиоактивных свойствах америция-241, образующегося при радиоактивном бета-распаде плутония-241 с периодом полураспада в 13,2 года. Период продукта распада, америция-241, составляет 458 лет. Количество америция-241 в плутонии может датировать процесс выделения плутония. Ожидаемое количество плутония-241 в образце из корейских реакторов должно быть небольшим, потому что общее содержание плутония-241 не будет превышать 0,5 процента. Более 90 процентов должно приходиться на плутоний-239, несколько процентов - на плутоний-240.

Ниже приводятся вычисления для оценки даты выделения плутония.

Полное количество плутония-241 в момент выделения равно сумме количества америция-241 (y) и плутония-241 (x). Время с момента выделения можно определить, решая уравнение радиоактивного распада плутония-241:

$$y = (x + y)e^{-\lambda t}$$

где λ - константа полураспада плутония-241, равная $0,053 \text{ год}^{-1}$. Решая это уравнение, можно получить, что

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{y}{x + y}$$

Оцениваемая дата выделения плутония рассчитывается вычитанием полученного времени t из даты проведения анализа. Если заявление КНДР было правильным, то то это дата должна соответствовать объявленной дате разделения в 1990 году.

Однако, после анализа образцов из реакторов МАГАТЭ пришло к выводу, что в КНДР проводилась более широкая деятельность во выделении плутония по сравнению с объявленной. Измерения МАГАТЭ согласуются с выделением плутония в 1989, 1990 и 1991 годах.

Мы должны заметить, что результаты МАГАТЭ не являются неоспоримыми, поскольку на этот тип анализа могут влиять процедуры уборки. Северокорейские операторы для очистки внутренних стенок горячих камер после осаждения нитрата плутония в окисел применяли растворители, которые в принципе могут по-разному извлекать плутоний и

американцев. Однако, МАГАТЭ брало и анализировало образцы и из прилегающих помещений, где растворители никогда не применялись. В этих образцах наблюдались такие же несоответствия.

В целом, МАГАТЭ уверено, что было проведено большее число кампаний выделенния, чем объявленное КНДР, и оно будет продолжать искать информацию об этих дополнительных кампаниях, несмотря на отказ КНДР от сотрудничества.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. См., например, John J. Fialka, "North Korea May Be Developing Ability to Build Nuclear Weapons", *Wall Street Journal*, 19 July 1989, p. A16.
2. См. Joseph S. Bermudez, "N. Korea - Set to Join the Nuclear Club?", *Jane's Defence Weekly*, 23 September 1989, pp. 594 - 597; Joseph S. Bermudez, "North Korea's Nuclear Programme", *Jane's Intelligence Review*, September 1991, pp. 404 - 411.
3. IAEA, "Transcript from the Press Briefing by Dr. Hans Blix, Director General of the IAEA", Beijing Hotel, Beijing, 16 May 1992.
4. Agreed Statement Between the United States of America and the Democratic People's Republic of Korea, Geneva, 12 August 1994.
5. So Yong-ha, "Capacity for Nuclear Weapons Development", [in Korean] *Hoguk (Scout)*, July 1989, pp. 119 - 122; english translation in Foreign Broadcast Information Services, FBIS-EAS-89-143, 3 August 1989, pp. 23 - 26; см. также ссылку 3.
6. S.E. Turner et al., "Criticality Studies of Graphite-Moderated Production Reactors, report prepared for the U.S.A. Arms Control and Disarmament Agency, SSA-125, Washington, D.C., Southern Sciences Applications, January 1980.
7. Газо-графитовые реакторы КНДР аналогичны по конструкции английским реакторам в Колдер Холле. Проектная тепловая мощность каждого из этих реакторов составляла 180 мегаватт, а загрузка топлива проводилась в выключенном состоянии. На каждом реакторе было установлено по две загрузочных и разгрузочных машины, а смена топлива длилась шесть недель (см. IAEA, *Directory of Nuclear Reactors: Vol. 1, Power Reactors*, Vienna, IAEA, 1959, pp. 125 - 130). В активной зоне содержалось 127 тонны природного урана примерно в 10 200 топливных стержнях (длина каждого стержня равнялась 100 см, а диаметр - 3 см). Исходя из этой информации, каждая разгрузочная машина Колдер

Холла могла извлечь около 1,5 тонны урана в день, или около 120 стержней в день. Если считать, что производительность машины на северокорейском реакторе такая же, то его персоналу понадобится около 65 суток для выгрузки 48 тонн топлива (при производительности 0,75 тонны в сутки). Длительность выгрузки по этой оценке больше [чем в Колдер Холле], поскольку считается, что в 1989 году на северокорейском реакторе была только одна разгрузочная машина, а количество каналов на 20 процентов меньше, чем в Колдер Холле. Если в КНДР в 1989 году была только одна машина, то она должна была использоваться и для погрузки, и для выгрузки. Если считать, что продолжительность загрузки может составлять от 50 до 100 процентов от времени выгрузки, то замена активной зоны северокорейского реактора может длиться от 100 до 130 суток. Если остановка в 1989 году продолжалась 70 суток, то за это время можно было бы заменить от половины до двух третей активной зоны. Однако, без более детальной информации о северокорейской разгрузочной машине эти оценки являются очень неопределенными.

8. Согласно сообщению официального представителя МАГАТЭ, КНДР начала выгрузку топлива в районе 10 мая и закончила ее 15 июня. Несколько топливных стержней застряли в каналах реактора и на их извлечение потребовалось еще несколько дней.
9. См. ссылку 3 и "Remarks by the Secretary of Defence William Perry to the Asia Society: U.S. Security Policy in Korea", National Press Club, Washington, D.C., 3 May 1994.
10. Эта оценка получена в предположении, что степень выгорания равна 4 000 Мвт-день/т и факторе преобразования плутония в 0,6 грамма плутония на Мвт-день/т. При этих условиях из реактора должно разгружаться в среднем около 40 - 50 тонн горючего в год.
11. Эта оценка была выдана делением полного годового производства энергии на двух реакторах на среднюю степень выгорания (при этом предполагалось, что средняя скажем так работа реакторов равнялась 80 процентам):

$$[(200 \text{ Mwt} + 25 \text{ Mwt}) / 065 \text{ суток} \cdot 0,6] / 1 \text{ Mwt-день/т}$$
12. M. Hibbs, "Second, Hidden Reprocessing Line Feared Opened in Yongbyon Plant", *Nucleonics Week*, 24 March 1994.