

Сумеют ли террористы использовать ядерное и радиологическое оружие?

Кристоф Вирц и Эммануил Эггер

Кристоф Вирц (доктор естественных наук) и Эммануил Эггер (доктор естественных наук) – физики, старшие научные сотрудники, отвечающие за вопросы, связанные с ядерным оружием, в лаборатории Шпиц Швейцарского ведомства по защите от ядерной, биологической и химической опасности.

Краткое содержание

Существуют серьезные опасения, что террористы смогут завладеть ядерным или радиологическим оружием и применить его в большом городе. Авторы рассматривают технические условия для получения такого оружия и препятствия к этому. Какие трудности террористам придется преодолеть? Может ли подобные проблемы решить террористическая организация, не пользующаяся непосредственной поддержкой государства, которое обладает ядерным оружием? Авторы приходят к заключению, что, скорее всего, ядерное оружие недосыгаемо для террористов. Однако в будущем террористы вполне могут воспользоваться радиологическим оружием. В статье также рассматриваются возможные последствия такого нападения.



Вступление

К счастью, террористы пока ни разу не применяли ядерное или радиологическое оружие. Однако использование химического вещества зарин в Токио (1995 г.), распространение сибирской язвы в США (2001 г.)

и контрабанда радиоактивных материалов внушают опасения. Кроме того, нападения 11 сентября 2001 г. ясно показывают, что существуют группы, обладающие значительными финансовыми и человеческими ресурсами, а также желанием нанести наибольший возможный ущерб.

До сих пор не было актов ядерного терроризма – означает ли этот факт, что они вряд ли произойдут в настоящем и не слишком вероятны в будущем? То, что легко, будет сделано; то, что сложно, произойдет с меньшей степенью вероятности. Исходя из этого, было проведено исследование, чтобы рассмотреть, какие технические трудности встанут на пути террористической группы, желающей тайно осуществить такой проект, какие материалы ей понадобятся, какие проблемы у нее возникнут¹. Это всеобъемлющее исследование легло в основу данной статьи, содержащей меньше технических подробностей.

Первая ее часть посвящена осуществимости ядерного терроризма. Авторы показывают, что использование ядерного оружия террористами весьма маловероятно. Радиологическое оружие, напротив, вполне может быть доступно террористам. Поэтому будут подробно рассматриваться возможные последствия использования радиологического оружия.

Сумеют ли террористы использовать ядерное оружие?

Можно представить два пути, которыми террористы могут завладеть ядерным оружием. Они могут попытаться создать так называемое импровизированное ядерное устройство (ИЯУ) либо украсть или купить ядерное оружие. Перед тем, как обсудить эти две гипотезы, мы хотели бы сообщить некоторые данные о принципе действия простейшего ядерного оружия.

Принцип действия ядерного оружия

В ядерном оружии находится достаточное количество ядерного топлива, чтобы сформировать несколько критических масс, но до детонации оно удерживается в подкритическом состоянии. Другими словами, ядерное топливо размещено таким образом, чтобы спонтанные нейтроны не смогли запустить цепные реакции, или чтобы эти реакции были очень короткими, быстро сходящими на нет.

1 Bernard Anet, Ernst Schmid, Christoph Wirz: «Nuclear terrorism: A threat to Switzerland?», Spiez Laboratory Internal Report, LS2000-03, 2000.

Чтобы вызвать ядерный взрыв, ядерное топливо надо как можно быстро привести в состояние максимальной сверхкритичности. В наиболее благоприятный момент запускается цепная реакция путем ввода нейтронов из источника нейтронов, тем самым начиная нечто вроде гонки между двумя процессами: с одной стороны, в сверхкритической конфигурации число нейтронов, а вместе с ними и количество высвобождаемой энергии, растет по экспоненте; с другой стороны, эта энергия, высвобождаемая актами деления, вызывает расширение, которое стремится опять превратить конфигурацию в подкритическую.

Если цепная реакция начнется до того, как система приблизится к максимально достижимому сверхкритическому состоянию, число нейтронов увеличивается не столь резко, и выход энергии составляет лишь небольшую долю от возможного максимума. Из-за спонтанного деления постоянно высвобождаются новые нейтроны, и нельзя исключить наличие нейтронов, которые могут вызвать такую преждевременную реакцию.

В зависимости от того, каким образом изначально подкритическая масса превращается в сверхкритическую, можно выделить два основных типа взрывных конфигураций: «пушечный» и имплозивный.

Взрывы ружейного типа (бомба «пушечного типа»)

До взрыва ядерное топливо разделено на несколько частей, каждая из которых не достигает критической массы. Используя обычные взрывчатые вещества, эти части затем соединяют для создания единой критической массы наиболее подходящей геометрической формы (лучше всего шаровидной). Плотность ядерного топлива не изменяется или изменяется лишь незначительно.

Поскольку этот метод является весьма медленным, преждевременная реакция может радикально уменьшить расчетную выработку, например, с 13 килотонн до нескольких тонн². Чтобы повысить шансы на получение расчетной выработки, используется лишь ядерное топливо с очень низкой интенсивностью спонтанного деления, например, уран с высоким содержанием U235.

В ядерной бомбе, сброшенной на Хиросиму, применялся принцип взрыва ружейного типа. Цилиндрической урановой пробкой диаметром примерно 10 см и длиной примерно 16 см выстрелили в полый цилиндр из урана. Общий вес двух масс равнялся 64 кг, и в среднем они на 80% состояли из U235. ЮАР также создала шесть бомб ружейного

2 Выработка – высвобождаемая энергия, обычно выражается в килотоннах тротилового эквивалента (КТ); 1 КТ соответствует 10^{12} калориям или $4,19 \times 10^{12}$ джоулям.

типа, в каждой из которых использовалось 55 кг урана, на 80% состоявшего из U235, но затем демонтировала их.

Имплозивные взрывы (взрывная бомба)

Подкритическая шаровидная масса ядерного топлива симметрично сжимается таким образом, чтобы конфигурация стала сверхкритической. Поскольку критическая масса обратно пропорциональна квадрату плотности, двойное сжатие превращает объект в половину критической массы в объект в две критические массы. Такое сжатие может быть достигнуто с помощью сферических сходящихся ударных взрывных волн. С этой целью используются «линзы» взрывчатых веществ, скорости детонационных волн которых значительно различаются. Линзы должны быть расположены вокруг сферы, которая подвергается сжатию – так, чтобы покрыть всю ее поверхность.

Хотя этот метод быстро дает результат, преждевременная реакция все же может сократить выработку по сравнению с расчетной, скажем, с 20 КТ до 1 КТ или даже меньше. Однако высоки шансы на получение расчетной выработки, даже при использовании ядерного топлива с не очень низкой интенсивностью спонтанного деления. Можно использовать высокообогащенный уран и плутоний (предпочтительно с низким содержанием Pu240).

Бомба, сброшенная на Нагасаки, была имплозивной. Ядро этой атомной бомбы состояло из 6,2 кг плутония (содержание Pu240 примерно 0,9%).

Могут ли террористы создать импровизированное ядерное устройство (ИЯУ)?

Требования к получению чертежа

Для создания работающего ИЯУ требуется точная копия чертежа, а не просто набросок, содержащий основные принципы. Хотя на удивление большое количество интересной и достоверной информации о ядерной физике и ядерных технологиях доступно широкой публике, особенно в Интернете, это вовсе не означает, будто такой информации достаточно, чтобы создать ядерное взрывное устройство. Напротив, это показывает, какими исключительными техническими навыками и инженерным искусством необходимо для этого владеть.

Ходили разговоры о том, что подпольная сеть, созданная Ханом, передала Ливии чертежи китайской бомбы (имплозивного устройства, содержавшего 22 КТ урана). Кроме этого примера, мы не слышали о каких-либо чертежах, неподконтрольных правительствам.

Однако даже если террористическая группа завладеет подобными чертежами, ей, скорее всего, придется изменять конструкцию устройства. Весьма маловероятно, чтобы у террористов оказалось то же ядерное топливо и те же взрывчатые вещества, которые были у Китая 40 лет назад. Чтобы переделать чертеж, им необходимо его понять, они должны знать, почему были приняты те или иные решения, – в общем, они нуждаются примерно в тех же знаниях и опыте, которые требуются для создания совершенного нового чертежа. Сколько усилий необходимо, чтобы получить эти знания?

Какое-то представление об этом может дать эксперимент «Страна N», который провели США в 1964–1967 гг. Трех молодым физикам, только что получившим докторскую степень, дали задание создать проект работающей атомной бомбы; при этом они не имели доступа к засекреченной информации. Они могли пользоваться обширной библиотекой Радиационной лаборатории Лоуренса и посещать посвященные взрывчатым веществам съезды ученых. Чтобы смоделировать проведение опытов, они могли подробно описывать эксперимент, а затем группа опытных конструкторов оружия производила вычисления и передавала результат эксперимента им обратно. Потратив три человеко-года за два с половиной календарных года, они разработали конструкцию бомбы имплозивного типа, которая, как им потом сообщили, была работающей. Но что значит «работающая»? Дал бы взрыв этой бомбы 1 КТ или 20 КТ? Бомбу так и не создали и не испытали.

Террористическая группа, без сомнения, могла бы заплатить физикам за такую работу. Однако, поскольку определенную информацию нельзя найти в соответствующей литературе, пришлось бы провести несколько ответственных экспериментов. А это требует доступа к материалам, которые трудно достать, и вызывает проблемы, связанные с необходимостью соблюдать секретность.

Сложности получения ядерного топлива

Кажется, эксперты сходятся в том, что главную трудность для террористической организации, желающей создать ИЯУ, представляет приобретение необходимого ядерного топлива. Для бомбы «пушечного» типа необходима чистая (минимальная) критическая масса очень высокообогащенного урана (см. ниже Таблицу 1). Для бомбы имплозивного типа – примерно половина чистой (минимальной) критической массы высокообогащенного урана или плутония.

Как обогащение урана, так и производство плутония в ядерном реакторе, конечно, совершенно исключено для террористической группы; необходимые для этого усилия слишком велики. Естественно,

подобные проекты невозможно сохранить в тайне. Поэтому данную возможность можно не рассматривать. Тем не менее сохраняется вероятность кражи или покупки украденного ядерного топлива.

Большинство атомных электростанций по всему миру используют низкообогащенный уран (LEU). Это топливо нельзя использовать для создания бомбы. Однако существуют гражданские исследовательские и материаловедческие ядерные реакторы, а также ядерные двигатели на подводных лодках, в которых используется высокообогащенный уран (HEU), то есть уран с содержанием U^{235} выше 20%. Кроме того, часть использованного в гражданских целях израсходованного топлива перерабатывается: то есть плутоний, который образовался в процессе работы реактора, извлекается оттуда и используется снова в других тепловыделяющих устройствах. Хотя подобное гражданское ядерное топливо не является наилучшим для создания атомной бомбы и ни одно государство, обладающее ядерным оружием, не станет им пользоваться, оно может быть использовано террористами.

Чтобы предотвратить использование гражданского ядерного топлива в военных целях, Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) инспектирует все ядерные объекты и все склады на территории не обладающих ядерным оружием государств, которые являются участниками Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО). МАГАТЭ указывает управляющим и собственникам таких объектов, как следует охранять ядерное топливо; из их отчетности оно также узнает, где и в каких количествах есть ядерное топливо. Частота инспекций зависит от того, какую опасность будет представлять собой то или иное топливо в случае его похищения.

Информация о контрабанде может служить мерилom эффективности и полноты контроля над ядерным топливом. Составленный МАГАТЭ «Перечень подтвержденных происшествий, связанных с HEU или Pu» показывает, что наибольшее число таких происшествий пришлось на 1994 г. Указанного в этом перечне топлива – всего вместе – было бы недостаточно для создания ядерной бомбы. Хотя это звучит утешительно, неизвестно, сколько контрабандистов не были пойманы, а также – действительно ли количество подобных происшествий уменьшилось после 1994 г.

Сложность изготовления ИЯУ

Даже при наличии ядерного топлива и чертежей создание ИЯУ было бы техническим проектом, требующим значительных усилий. Прежде всего потому, что использование в нем больших количеств ядерного топлива создает угрозу для жизни потенциальных изготовителей.

Хотя препятствий для изготовления ИЯУ «пушечного» типа явно меньше, чем в случае с имплозивным устройством, их не следует сбрасывать со счетов. Чтобы создать урановые части ИЯУ, необходимы специалисты в области металлургии и соответствующее оборудование. Вот некоторые практические трудности, которые им придется преодолеть:

- уран спонтанно возгорается при температуре воздуха 150–175 °С;
- уран токсичен и радиоактивен. Высокообогащенный уран обнаруживает в 100 раз больше расщеплений на единицу времени, чем природный уран;
- остывая с температуры плавления (1132,2 °С) до комнатной температуры, уран проходит два фазовых превращения. При этом плотность повышается на более чем 8,5%. Изменение плотности на 8,5% приводит к примерно 18-процентному изменению критической массы;
- невозможно проверить, подходят ли друг другу две подкритические массы;
- экспорт материалов для отражателей и изостатических прессов, которые подходят для создания отражателей, находится под контролем.

Следующий пример может продемонстрировать сложности сжатия и, следовательно, создания имплозивного импровизированного ядерного устройства. Для сжатия литра воды, чтобы он поместился в объем половины литра или меньше, понадобилось бы огромное давление, и малейшая асимметрия привела бы к созданию реактивной струи вместо сжатия. Поскольку силы, связующие атомы в твердых веществах, малы по сравнению с необходимыми силами, твердые вещества (например, уран или плутоний) в условиях сжатия ведут себя как жидкости, то есть подчиняются законам гидродинамики.

Трудность получения необходимого опыта и выполнения технических требований (что в некоторых областях почти неосуществимо), отсутствие доступных материалов и отсутствие опыта работы с этими материалами, – вот причины, по которым группа лиц, не являющаяся государством, вряд ли сможет изготовить имплозивное ИЯУ с соответствующим сжатием.

В общем, знания принципов действия ядерного оружия и доступа к ядерному топливу вовсе не достаточны для успешного изготовления бомбы, которая пригодна для применения.

Могут ли террористы приобрести ядерное оружие путем кражи (или покупки краденого)?

Очевидно, что международная безопасность зависит от того, насколько серьезно государства, обладающие ядерным оружием, относятся к лежащей на них ответственности. Ядерное оружие находится в хорошо защищенных и охраняемых установках или на складах ядерного оружия. Кража была бы сопряжена с существенным риском и потребовала бы участия большого числа людей, значительных расходов и серьезной организации. Без помощи изнутри и знания местной специфики такую кражу невозможно представить. До сих пор не поступало подтвержденных или хотя бы правдоподобных сообщений о подобных кражах.

Существуют системы защиты и обеспечения безопасности различных типов, которые гарантируют, что нежелательный ядерный взрыв не произойдет ни при каких обстоятельствах. Вот некоторые из них:

- инерционные выключатели и датчики ускорения позволяют вставить взрыватель лишь после достижения порогового уровня;
- некоторые системы требуют электрического импульса высокого напряжения;
- датчики состояния окружающей среды отслеживают траекторию и включаются лишь при определенном отношении продольного ускорения к боковому;
- барометрический автомат включает электрическую цепь лишь на определенной высоте над землей;
- необходима система предотвращения неразрешённого использования (известная под названием Permissive-Action Link), состоящая, например, из нескольких цифровых кодов длиной до 12 цифр и позволяющая сделать ограниченное число попыток ввода. Код должен вводиться двумя или более людьми, то есть каждому из этих людей известен не код целиком, а лишь его часть.

Также известно, что с 1970-х гг. в США существуют системы обеспечения безопасности ядерного оружия, которые уничтожат важные компоненты оружия или сделают их бесполезными, если кто-либо станет ненадлежащим образом обращаться с бомбой или попытается ее вскрыть. Подобные системы защиты и обеспечения безопасности также используются для хранения российского ядерного оружия. Если ядерная бомба не полностью уничтожается при вскрытии и из нее можно извлечь ядерное топливо, его количества будет недостаточно даже для простейшей схемы; для получения необходимого количества потребуется украсть несколько бомб.

Благодаря таким системам защиты и обеспечения безопасности мала вероятность того, что украденная бомба будет успешно применена.

Сумеют ли террористы использовать радиологическое оружие?

Определение: Что такое радиологическое оружие?

Радиологическое оружие (радиологическое рассеивающее устройство – РРУ) – это любое устройство, которое предназначается для рассеивания радиоактивных веществ в окружающей среде, либо с целью убийства, либо для того, чтобы помешать использованию территории. Иногда – если для рассеивания радиоактивных веществ используются бризантные взрывчатые вещества – радиологическое оружие называют «грязными бомбами».

Радиологическое оружие не является ядерным оружием. Даже если уран или плутоний распространяются с помощью радиологической бомбы, взрывная волна возникает только из-за использования взрывчатого вещества; деления ядер, как в случае с ядерной бомбой, не происходит. Поэтому взрывная волна от взрыва радиологической бомбы равна взрывной волне от взрыва обычной бомбы при использовании равного количества взрывчатого вещества.

Воздействие радиации на людей

«Доза» – это термин, описывающий количество радиации, полученное человеком. Мощность дозы облучения измеряется в тысячных долях зиверта (Зв), называемых миллизиверт (мЗв)³.

По существу, можно провести различие между острыми радиационными повреждениями, когда наличествуют симптомы лучевой болезни и возможна смерть вскоре после облучения, и долгосрочным воздействием, когда существует повышенная вероятность смерти от рака через много лет после облучения. Пороговое значение для появления острых радиационных повреждений – общая доза примерно в 1000 мЗв. Для населения, состоящего из людей всех возрастов и обоих полов, число смертей от рака, вызванных хроническим облучением, оценивается в 5–6% на Зв⁴. Пороговое значение для таких последствий неизвестно.

3 1 мЗв равняется 100 мбэр.

4 «Report of the United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation to the General Assembly», generally referred as UNSCEAR 2000 Report.

Насколько трудно создать радиологическое оружие?

Для создания радиологического оружия террористам необходим доступ к достаточному количеству радиоактивного материала. Источники радиации используются в медицине, промышленности, сельском хозяйстве, а также при проведении исследований. Их можно найти в больницах, в медицинском и промышленном оборудовании для облучения, в вузах и даже в жилых домах. Однако не все эти источники пригодны для использования в РРУ. В большинстве своем они слишком слабы для того, чтобы причинить значительный ущерб. Кроме того, многие источники радиации представляют собой металлические предметы, которые невозможно рассеять с помощью взрывчатки. Тем не менее нельзя полностью исключить возможность того, что террористы получают в свое распоряжение соответствующий материал в количестве, достаточном для заражения большой площади.

Для обеспечения безопасности при обращении с источником сильной радиации необходимы знания о радиоактивных веществах и радиационной защите. Можно предположить, что забота о безопасности и риск заболеть раком через много лет не слишком волнуют террористов или «смертников».

Таким образом, рассмотрев осуществимость подобной задачи с технической точки зрения, следует заключить, что создание радиологического оружия вполне возможно. Оно в любом случае потребует применения передовых технологий, планирования, огромной целеустремленности и значительных расходов. Тем не менее не существует непреодолимых препятствий, которые помешали бы террористам создать радиологическое оружие.

Чтобы предотвратить использование источников радиации в качестве радиологического оружия, Международная конференция по сохранности радиоактивных источников, состоявшаяся в Вене (Австрия) в 2003 г., обратилась к этой проблеме и призвала международное сообщество предпринять новые шаги к ее решению. В результате в 2003 г. был пересмотрен принятый МАГАТЭ «Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников», в 2004 г. были разработаны и одобрены подкрепляющие его «Руководящие принципы по импорту и экспорту радиоактивных источников», а недавно завершилась работа над документом под названием «Руководство по безопасности. Категоризация радиоактивных источников». Более 70 стран уже выразили намерение следовать принципам, указанным в «Кодексе поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников».

На своей встрече в Эвиане в 2003 г. «большая восьмерка» выразила полную политическую поддержку действий МАГАТЭ и «Кодекса поведения» и призвала все государства приложить усилия к повышению безопасности и сохранности радиоактивных источников. В 2004 г. в Си-Айленде «большая восьмерка» поддержала «Руководящие принципы по контролю над экспортом и импортом радиоактивных источников повышенной опасности», которые были разработаны под эгидой МАГАТЭ, а в сентябре 2004 г. одобрены Генеральной конференцией. Совет Безопасности ООН в преамбуле Резолюции 1540 признал, что большинство государств приняли эффективные предупредительные меры, рекомендованные «Кодексом поведения». На международном уровне эти меры призваны обеспечить сохранность радиоактивных источников и снизить вероятность того, что один из них попадет в руки террористов.

Возможные сценарии использования радиологического оружия

Закрытый источник радиоактивного излучения

Гамма-излучающий источник генерирует локально ограниченное поле облучения, в котором интенсивность облучения быстро снижается при удалении от источника. Сильный источник гамма-излучения может быть спрятан в людных местах, например в густонаселенных городских районах или правительственных учреждениях, в результате чего большое число людей за короткий промежуток времени могут подвергнуться сильному радиоактивному облучению. Маловероятно, чтобы люди, подвергшиеся воздействию такого источника, заболели лучевой болезнью в острой форме. Однако при его обнаружении можно ожидать возникновения паники среди всех тех, кто какое-то время находился рядом с ним. В долгосрочной перспективе при облучении таким источником, слегка повышается опасность возникновения раковых заболеваний (повышение, возможно, будет незаметным с точки зрения статистики).

Другая вероятность – использование такого источника для облучения ограниченного числа людей в течение длительного времени. В этом случае люди могут заболеть тяжелой формой лучевой болезни и даже умереть в результате облучения. Однако число жертв подобного нападения было бы весьма ограничено.

Заражение пищи

Пища или напитки могут быть заражены путем добавления к ним радиоактивных веществ, например, на производящих их предприятиях,

при транспортировке или в магазинах розничной торговли. Основной опасностью в таком случае является внутреннее заражение потребителя. Даже выборочное и слабое заражение лишь небольшого числа предметов оказало бы существенное воздействие на общественность и причинило бы огромный ущерб экономике.

Заражение питьевой воды

Поскольку растворимые радиоактивные вещества сильно разводятся большим объемом воды, предполагается, что их добавление, даже в значительных количествах, в питьевую воду в системе водоснабжения не приведет к заражению, опасному для людей, которые пьют эту воду. Однако эти низкие значения допуска для питьевой воды могут быть превышены, что потребует принятия дорогостоящих мер по снижению уровня загрязнения.

Взрывное устройство с радиоактивным материалом

При детонации взрывного устройства, в которое добавлены радиоактивные вещества, происходит заражение как места взрыва, так и более обширной площади. Подобное устройство обычно называют «грязной бомбой». Местное заражение вызывает выброшенный радиоактивный материал. Расширение площади заражения связано с распространением и осаждением твердых частиц, оказавшихся в воздухе после взрыва. Вдыхание радиоактивных твердых частиц приводит к внутреннему облучению людей. Раненые могут быть заражены. Весьма вероятно, что зараженных людей перевезут в больницы – таким образом, заражение проникнет и туда. В таком случае обеззараживание может оказаться сложным, трудоемким и дорогим.

Заражение воздуха с помощью аэрозолей

Имея соответствующее оборудование, можно произвести легко вдыхаемый аэрозоль. В случае распыления раствора радионуклидов в крупном общественном здании находящиеся в нем люди будут дышать зараженным воздухом. Кроме того, осаждение твердых частиц приведет к заражению поверхностей: как тел людей, так и полов в здании. Подобное нападение может вызвать страх заболеть раком среди людей, находившихся в здании, и стать причиной закрытия здания на период времени, необходимый для обеззараживания, что приведет к экономическим потерям и высокой стоимости обеззараживания.

Последствия использования радиологического оружия

После использования радиологического оружия определенная территория будет заражена радиоактивными веществами, особенно в случае двух последних из описанных выше сценариев. Размер этой территории будет зависеть от средств, которые применялись для распространения радиоактивных веществ, количества радиоактивного материала, метеоусловий и многих других факторов.

Обычно радиоактивное заражение в пострадавшей зоне уменьшается при удалении от эпицентра. Заражение также уменьшается с течением времени. Во-первых, под воздействием погодных условий постоянно удаляется радиоактивность из зараженного района, а во-вторых, не надо забывать о естественном распаде радионуклидов.

Математические модели показывают, что в случае применения грязной бомбы можно ожидать, что максимальная мощность дозы облучения составит около 10 мЗв/ч на месте взрыва. Этот показатель, конечно, зависит от гипотетических параметров, таких как активность, метеоусловия и количество взрывчатки. Человеку пришлось бы провести сто часов в зоне эпицентра, чтобы появилась 5-процентная вероятность того, что у него возникнут симптомы тяжелой лучевой болезни. Таким образом, практически невозможно, чтобы жители пострадавшего района, служащие или прохожие получили настолько высокую дозу радиации, чтобы заболели лучевой болезнью или умерли.

Поэтому маловероятно, чтобы радиоактивность, исходящая от радиологического оружия, представляла собой серьезную опасность для здоровья. Однако могут оказаться необходимыми меры для предотвращения или снижения долгосрочного ущерба, нанесенного людям облучением (возможное повышение угрозы рака и лейкемии). Международная комиссия радиологической защиты (МКРЗ) рекомендует принимать меры в том случае, если ожидаемая доза облучения всеми известными источниками радиации превысит для соответствующих людей $10 \text{ м}^3\text{в}/\text{год}^5$.

В принципе, в зависимости от степени заражения, может быть отдан приказ о принятии следующих мер для защиты населения:

- рекомендация все лицам, которые во время нападения находились на улице, принять душ и сменить одежду;
- временные ограничения на время, проводимое на улице;
- временное пребывание в подвале или укрытии;
- ограничения на потребление определенных сельскохозяйственных продуктов;

5 *Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposures*, ICRP Publication 82, 2000.

- запрещение собирать урожай, пасти скот, охотиться и ловить рыбу;
- временная эвакуация, или
- полное перемещение пострадавшего населения.

Пребывание в помещении снижает опасность примерно в 10 раз, поскольку когда мощность дозы в окружающем воздухе составляет $1 \text{ м}^3\text{в/ч}$, в помещении она составляет $0,1 \text{ м}^3\text{в/ч}$. Эвакуация может быть объявлена лишь на короткое время, чтобы позволить организациям гражданской обороны без помех обследовать пострадавший район и провести обеззараживание. Решение об эвакуации также может быть принято, если здание не предоставляет необходимой защиты или условия пребывания в нем невыносимы.

Если обеззараживание территории окажется невозможным или слишком дорогим, может быть рассмотрен вариант с перемещением населения и запрещением доступа в соответствующий район. В случае радиоактивного заражения эти меры могут снизить или даже полностью устранить опасность для здоровья людей. Угроза рака, вызванного облучением, может быть уменьшена до такой степени, чтобы не ждать доказуемого роста раковых заболеваний. С точки зрения лишь опасности для здоровья, необходимые меры могут быть приняты без особой спешки, поскольку несколько дней задержки вряд ли что-либо изменят. Заражение может оказаться настолько слабым, что любые меры будут излишни.

В случае сильного заражения может появиться необходимость обеззараживания пострадавших лиц, зданий и улиц, то есть очищения их от радиоактивных веществ. Обычно человеку для обеззараживания достаточно сменить одежду и тщательно вымыться. Обеззараживание улиц, площадей и зданий – значительно более сложный процесс; их необходимо поливать большим количеством воды и оттирать, а иногда даже пылесосить. В зависимости от типа заражения и поверхности, эта процедура уничтожает от 10 до 90% радиоактивности: иногда требуется несколько раз ее повторить, чтобы получить сколько-нибудь значимый результат. Некоторые радиоактивные вещества могут соединяться с асфальтом или бетоном, из-за чего указанная выше процедура становится неэффективной. В таких случаях, возможно, потребуются снять наружную обшивку со зданий или покрытие с улиц и захоронить их как радиоактивные отходы. В районах, где обеззараживание невозможно, например, в садах или парках, приходится снимать верхний слой почвы высотой 20–30 см, что вызывается необходимостью избавляться от большого количества радиоактивных отходов.

Вероятно, к выполнению столь масштабной задачи привлекут армию, организации гражданской обороны, вспомогательные подраз-

деления и частные компании. После успешного обеззараживания население может вернуться в свои дома через несколько дней или месяцев. Если попытка обеззараживания окончится неудачей, вероятно, пострадавшие здания придется снести и построить заново, а население – переместить.

Доверие населения к властям окажется подорванным многочисленными рекомендациями и законами по радиационной защите, часть из которых будет противоречить друг другу. Проведенный в США опрос показал, что около 40% жителей не будут следовать официальным распоряжениям и в любом случае попытаются как можно быстрее покинуть зараженную местность⁶. В 2004 г. в США существовало шесть законов, применимых к обеззараживанию после срабатывания РРУ и устанавливавших различные ограничения допустимых доз⁷. Споры экспертов и политиков о нерешенных проблемах все больше подрывают доверие общества. Таким образом, исправление ситуации откладывается, в связи с этим усугубляются последствия применения РРУ и связанные с этим затраты, а, в конце концов, придется принимать излишне дорогостоящие меры лишь для того, чтобы вернуть доверие общества.

В густонаселенном районе тщательное обеззараживание даже относительно небольшой территории скорее всего привело бы к огромным расходам. Местным компаниям, вероятно, пришлось бы временно закрыться; многие жители уехали бы. Помимо этих более или менее непосредственных издержек, неуверенность в будущем и потрясение, которые испытывала бы значительная часть населения, повлекли бы за собой немалые общие расходы. Хотя опасность для здоровья могла бы быть минимальной, пострадавший город или даже регион потеряли бы привлекательность для жителей, деловых кругов и туристов. В худшем случае это вылилось бы в потерю нескольких сотен миллиардов долларов.

Выводы

Препятствия, мешающие террористам завладеть ядерным оружием, чрезвычайно велики. Поэтому вероятность применения такого оружия террористами чрезвычайно мала. Создание ядерного оружия – слож-

6 Roz D. Lasker. *Redefining Readiness: Terrorism Planning through the Eyes of the Public*, Center for the Advancement of Collaborative Strategies in Health, New York Academy of Medicine, 14 September 2004.

7 D. Elcock, G.A. Klemic, A.L. Taboas: «Establishing remediation levels in response to a radiological dispersal event» (or «dirty bomb»), *Environ. Sci. & Technol.*, Vol. 38, No. 9, pp. 2505–2512.

ная задача даже для государств. Ирак пытался сделать это 15 лет назад (бюджет проекта составлял 10 миллиардов долларов США, в нем участвовали 7 тысяч сотрудников), однако потерпел неудачу. Кроме того, с тех пор был усилен Договор о нераспространении, лежащий в основе нераспространения ядерного оружия, и усовершенствованы меры безопасности. Участникам ДНЯО было бы крайне трудно разработать ядерное оружие, не вызвав подозрений, особенно это касается тех стран, для которых вступил в силу Дополнительный протокол о гарантиях, принятый Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) в 1997 г. Тайная разработка ядерного оружия неким негосударственным образованием еще менее вероятна.

Обычные инструменты права, используемые против распространения ядерного оружия, препятствуют и ядерному терроризму. Следовательно, готовность усилить ДНЯО, сокращение числа боеголовок и количества критического ядерного топлива еще больше снизят опасность ядерного терроризма.

Наше исследование позволяет сделать вывод, что, в отличие от случая с ядерным оружием, для приобретения и применения радиологического оружия хорошо организованной террористической группой, в принципе, не существует непреодолимых препятствий, хотя эта задача по-прежнему связана с высокими технологиями и весьма сложна. Эксперты оценивают вероятность подобного нападения в течение ближайших десяти лет как 40-процентную⁸. В большинстве стран нет всеобъемлющих программ действий в случае применения РРУ. Подобные программы должны были бы включать в себя просвещение населения, обеспечение готовности служб, оказывающих первую помощь при чрезвычайной ситуации, и разработку стандартов, определяющих уровни заражения, которые совместимы с жизнью людей, если произойдет такое нападение. Если оценки экспертов верны, срочно необходимо планирование действий на случай непредвиденных обстоятельств, чтобы предотвратить панику и смягчить возможные последствия подобного события.

Приложение: Некоторые основные термины ядерной физики

Ниже разъясняются самые важные термины, необходимые для понимания принципов и механизмов действия ядерного и радиологического оружия.

8 Richard G. Lugar: *The Lugar Survey on Proliferation: Threats and Responses*, June 2005, available at <http://lugar.senate.gov/reports/NPSurvey.pdf> (visited on 12 September 2005).

Изотопы

Атомные ядра состоят из протонов и нейтронов. Количество протонов определяет соответствующий химический элемент. Ядро урана, например, состоит из 92 протонов, а ядро плутония – из 94. Ядро элемента может состоять из разного числа протонов; в этом случае говорят о различных изотопах этого элемента.

Радиоактивность, период полураспада

Радиоактивные атомные ядра имеют свойство излучать – без какого-либо внешнего воздействия – частицы; таким образом, одни ядра превращаются в другие. В случае альфа-распада атомное ядро излучает альфа-частицу, состоящую из двух протонов и двух нейтронов; – так ядро теряет соответствующее количество массы. В случае бета-распада ядро излучает электрон – так называемую бета-частицу; однако его масса остается почти постоянной. Как альфа-распад, так и бета-распад могут сопровождаться так называемым гамма-излучением, то есть сильным (коротковолновым) электромагнитным излучением. Лист бумаги или несколько кубических метров воздуха задержат альфа-излучение. Бета-излучение будет остановлено тонкой книгой, тогда как гамма-излучение пройдет даже сквозь стены.

Продолжительность радиоактивности характеризуется периодом полураспада, то есть временем, которое необходимо, чтобы количество радиоактивного вещества уменьшилось вдвое.

Спонтанное деление

Спонтанное деление следует понимать как радиоактивный распад, при котором атомное ядро расщепляется, без какого-либо внешнего воздействия, на две или (очень редко) три части. В то же время высвобождается некоторое количество нейтронов, гамма-излучения и энергии (в форме кинетической энергии частиц).

Вынужденное (индуцированное, нейтронное) деление / цепная реакция

Нейтроны могут ударяться о ядро и быть, таким образом, захваченными. Однако нейтроны, захваченные некоторыми тяжелыми изотопами, способны также вызывать расщепление ядра, – это и есть вынужденное (индуцированное, нейтронное) деление.

С каждым делением высвобождаются нейтроны, которые могут индуцировать последующие акты деления. Происходит так называемая цепная реакция. Ядерное топливо состоит из изотопов – при расщеп-

лении их нейтронами любой мощности поддерживается ход цепной реакции.

Критическая масса

Критическая масса ядерного топлива – это количество, необходимое для незатухающей ядерной цепной реакции. В большем объеме реакция возрастает по экспоненте; такая масса называется сверхкритической.

Критическая масса не является постоянной величиной. Наименьшую критическую массу имеет ядерное топливо в форме шара, поскольку соотношение его поверхности к объему минимально. Критическая масса может быть снижена, если нейтроны, выходящие из ядерного топлива, возвращаются обратно путем отражения. Кроме того, критическая масса обратно пропорциональна квадрату плотности. В таблице 1 приведены критические массы для изотопа плутония-239 и различных смесей изотопов урана.

	Критическая масса (кг)
Pu ²³⁹ (самая плотная фаза)	~ 10
U ²³⁵	~ 48
U ²³⁵ (94%) U ²³⁸ (6%)	~ 52
U ²³⁵ (80%) U ²³⁸ (20%)	~ 70
U ²³⁵ (50%) U ²³⁸ (50%)	~ 160
U ²³⁵ (20%) U ²³⁸ (80%)	~ 800

Таблица 1: Чистые (минимальные) критические массы (без отражателя) шаров различных видов ядерного топлива.