

Радиационный терроризм (медико-биологические аспекты)*

И. Я. Василенко

доктор медицинских наук,

Государственный научный центр — Институт биофизики

О. И. Василенко[†]

доктор физико-математических наук,

физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

Терроризм, как явление, существует давно. Однако, в последнее время его масштабы возросли, что вызвано рядом причин.

- В мире растёт разрыв между доходами, уровнем жизни людей, как внутри отдельных стран, так и между странами. Большая и всё увеличивающаяся часть населения Земли в обозримом будущем не имеет никаких перспектив достичь уровня благосостояния, характерного для населения развитых стран. Это приводит к росту экономического сепаратизма, основанного на идеях, что отделение богатого ресурсами, находящегося в хороших климатических условиях и т.п. региона может повысить уровень жизни населения. Подобная пропаганда широко использовалась для развала СССР.
- Рост образования часто приводит к росту национализма и борьба под его флагом часто используется национальной элитой для укрепления своих позиций в многонациональных странах.
- Существующее неравенство, жестокость и бездуховность капиталистической системы, часто стремящейся уничтожить важные для

* И. Я. Василенко, О. И. Василенко. “Медико-биологические аспекты радиационного терроризма.” // Бюллетень по атомной энергии. 2003, № 5, С. 48-52.

[†]E-mail address: vasilenko@depni.sinp.msu.ru

людей ценности (национальную культуру, природу и т.п) являются питательной средой для идей переустройства общества на более справедливых началах. Революционная борьба практически использует террор.

- Глобализация привела к пониманию того, что индустриализация, научно-технический прогресс, информатизация не только не сглаживают культурно-цивилизационные различия в мире, но наоборот создают экономическую базу для невоенного соперничества. Так ряд арабских стран, имеющих высокие нефтяные доходы, скрыто финансируют борьбу единоверцов (палестинцев, мусульман в Индии, Китае, албанцев в Сербии, чеченцев в России) по всему миру, всё чаще принимающую форму терроризма.
- Всё усложняющаяся структура современного общества делает его всё более уязвимым ко всё более доступным видам атак. Сама доступность средств нанесения вреда приводит к их неминуемому использованию, причём иногда даже без выдвижения каких либо требований. Ярким примером является постоянное создание и распространение компьютерных вирусов, вред от которых превышает любой ущерб от актов традиционного террора. Информационный терроризм имеет самые широкие перспективы.

Террористы для достижения поставленных целей широко используют химические взрывчатые вещества (тротил, пластид и др.), производя подрыв их в общественных местах, торговых центрах, жилых домах, рынках, железнодорожных станциях и других местах массового скопления людей (подрыв торгового центра в Нью-Йорке, жилых домов в Москве, Волгодонске, Каспийске, театрального центра на Дубровке и др.). Гибнут ни в чём не повинные люди, в том числе дети.

В ряде случаев террористы использовали токсические химические вещества и возбудители инфекционных заболеваний, преследуя цель посеять страх среди населения.

В средствах массовой информации всё чаще и чаще мелькают сообщения о готовящихся террористами ядерных и радиационных актах с описанием кошмарных их последствий. Авторами таких сообщений, судя по их содержанию, являются лица, имеющие смутное представление о возможности изготовить ядерное взрывное устройство (ЯВУ). Хищение с баз хранения, а тем более с боевых позиций ядерных боеголовок исключается. Ни одного достоверного ядерного и радиационного террористического акта не зарегистрировано. Однако, ослаблять внимание

соответствующих служб к этому нельзя. Риск слишком велик. Он может касаться сотен тысяч, если не миллионов людей.

Мы не будем касаться государственного ядерного терроризма, когда само государство становится террористом. Вопрос требует специального рассмотрения, поскольку он связан не с медико-биологическими вопросами, а с политическими, экономическими, юридическими и социальными аспектами. Отметим лишь, отрицать возможность применения ядерного оружия, особенно странами со слабыми нестабильными режимами, не следует.

Создать же ЯВУ отдельным "талантливым" террористам или даже их группой дело безнадежное. Во-первых, для этого необходимо значительное количество (десятки кг) делящихся материалов (урана-235, плутония-239) с высокой степенью чистоты (90 ÷ 94 %). Без наличия делящихся материалов создать ЯВУ, разумеется, невозможно. Во-вторых, если гипотетически допустить, что в руках террористов оказалось необходимое количество урана или плутония нужной степени обогащения, то сконструировать достаточно компактное ЯВУ в "гараже" или "подвале" дело безнадежное. Для этой цели требуется специальное оборудование и специалисты высокой квалификации. Известно, какие силы и средства были привлечены США, СССР и другими странами для получения нужного количества и качества делящихся материалов. Само конструирование первых изделий было не менее сложным процессом. После создания ядерного оружия в течение некоторого времени рассматривался вопрос об использовании отходов ядерной промышленности (сложной смеси радионуклидов) в качестве радиологического оружия. Идея основывалась на возможности радиоактивного загрязнения местности, промышленных предприятий, транспортных узлов и других важных объектов, что привело бы к невозможности пользоваться ими в течение длительного времени. Причём такое загрязнение не сопровождалось бы уничтожением материальных ценностей.

Для этих целей рекомендовалось использовать долгоживущие радионуклиды. Радионуклиды с коротким периодом полураспада, разумеется, не могут обеспечить необходимый эффект, поскольку не способны проявлять вредное действие в течение длительного времени. Такие боеприпасы не могли храниться длительное время. Само изготовление, транспортировка "грязных" боеприпасов были связаны с опасностью облучения персонала.

Одно время предлагалось использовать в качестве радиологического оружия кобальтовые бомбы, составной частью которых был стабильный кобальт ^{59}Co . В американском пособии "Действие ядерного оружия" этому вопросу посвящён специальный раздел. Стабильный кобальт под

действием нейтронов при взрыве изделия превращался в радиоактивный ^{60}Co и обеспечивал длительное загрязнение. Ситуация изменилась с разработкой крупных зарядов, при взрыве (наземном, низком воздушном) которых образуется большое количество ПЯД, выпадающих на ближайшем радиоактивном следе. Такие взрывы по существу являются оружием радиологической войны.

Более реальным является возможность использования террористами радиоактивных веществ (радиационный терроризм). Угроза радиоактивного терроризма зависит от физических и биологических свойств радионуклидов, которые могут быть применены террористами. Ни одного подобного случая террора, как нам известно, пока не зарегистрировано. Речь идёт пока лишь об угрозе его использования. При этом преследуется прежде всего психологический, поскольку увеличение уровня радиации воспринимается населением так же, как последствия бомбардировок Хиросимы и Нагасаки или крупных радиационных аварий (ЧАЭС).

Для террористических актов могут быть использованы отдельные радионуклиды, которые широко применяются в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, науке. При недостаточном контроле за их сохранением радиоизотопные источники различного назначения могут попасть террористам и быть использованы в террористических целях в качестве радиологического оружия. Вероятными объектами могут быть административные, деловые, промышленные, информационные, телекоммуникационные центры, транспортные коммуникации (ж.д. станции, метро), продовольственные базы, источники водоснабжения и др. Разумеется доставка радионуклидов, подготовка их к применению, само применение, особенно гамма-излучающих радионуклидов, сопряжено с большими трудностями.

Кратко остановимся на физико-химических и радиобиологических характеристиках, биологическом действии и токсичности некоторых радионуклидов.

Кобальт [Co]. Природный кобальт состоит из одного стабильного изотопа и относится к широко распространённым в природе элементам. Его содержание (по весу) в земной коре составляет 0.002 %. Кобальт является необходимым биологическим микроэлементом и содержится во всех растительных и животных организмах. Он входит в состав витамина В12, влияет на кроветворение и процессы обмена. Суточная потребность человека равна $7 \div 15$ мкг и удовлетворяется за счёт поступления с пищей. Кобальт широко применяется в химии, металлургии и медицине. Известно 11 радиоактивных изотопов с массовыми числами $53 \div 58$ и

60 ÷ 64. Практическое значение имеют изотопы ^{57}Co ($T_{1/2} = 270.9$ сут.), ^{58}Co ($T_{1/2} = 70.8$ сут.), ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.27$ года). Наибольшее значение имеет долгоживущий ^{60}Co . Как источник достаточно жёсткого β -, γ -излучения он широко применяется в технике, медицине и сельском хозяйстве. Благодаря большому периоду полураспада и возможности получать источники с высокой удельной активностью, его используют в лучевой терапии для внешнего облучения, а с помощью аппликаторов и внутреннего. Широко используют ^{60}Co в радиобиологических исследованиях для облучения животных, растений, предпосевной обработки семян, предупреждения прорастания картофеля и порчи других овощей, консервирования пищевых продуктов путём радиационной стерилизации. При поступлении во внешнюю среду радиокобальт может стать источником внешнего и внутреннего облучения. В организм человека нуклид может поступать ингаляционно, перорально с загрязнённой пищей и водой, а также через кожные покровы, особенно повреждённые. Всасывание в кишечнике принимается равным 0.3 для органических соединений, а в форме оксидов и гидроксидов — 0.05 %. Всосавшийся радионуклид преимущественно депонируется в печени и мышцах — соответственно 30 и 20 % суммарного содержания в организме. Нуклид достаточно быстро выводится из организма. Большая часть выводится с мочой. По данным МКРЗ $T_{\text{эффект.}} = 9.5$ сут. Учитывая широкое использование ^{60}Co в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве, медицине, научных исследованиях, нуклид может оказаться в руках террористов и применён, как источник длительного внешнего облучения в районе террористического акта.

Цезий [Cs]. Из 24 известных изотопов цезия только один (^{133}Cs) стабилен, остальные 23 с массовыми числами 123 ÷ 132 и 134 ÷ 144 — радиоактивные. ^{133}Cs — типичный микроэлемент и в природе существует в форме различного рода соединений с другими элементами. Содержится в микроколичествах в растениях и организмах животных. В организме человека содержится около 0.0015 г с суточным поступлением с пищей около 10 мкг. Биологическая роль цезия остаётся не раскрытой. Цезий широко применяется в промышленности, в частности в электронике.

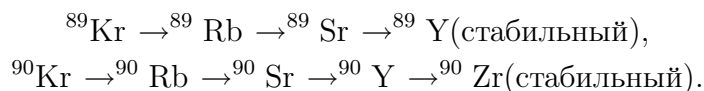
Из радиоактивных изотопов наибольшее практическое значение имеет ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30.2$ года), образующийся в реакциях деления урана и плутония. Он стал одним из основных компонентов, наряду со ^{90}Sr , радиоактивного загрязнения внешней среды в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере и выбросов предприятий атомной энергетики. Для нужд промышленности и медицины радионуклид получают из про-

дуктов ядерного деления (ПЯД) урана и плутония. В качестве источника β -, γ -излучения нуклид широко применяется в медицине для контактной и дистанционной лучевой терапии. При бета-распаде излучаются частицы с энергией 170.8 кэВ. Его дочерний нуклид ^{137m}Ba со сроком жизни 2.55 мин. испускает γ -кванты с энергией 661.6 кэВ. Нуклид широко применяется для стерилизации и в многих других технологиях. При поступлении во внешнюю среду, как один из наиболее биологически опасных нуклидов, ^{137}Cs может представлять опасность, как источник внешнего и внутреннего облучения населения. При любом поступлении в организм (ингаляционном, пероральном с пищей и водой) цезий интенсивно всасывается (до 100 %), накапливаясь в основном в мышечной ткани (до 80 %). Клинически лучевые поражения при внутреннем облучении практически не отличаются от лучевой болезни при внешнем гамма-облучении. ОЛБ при внешнем облучении ^{137}Cs лёгкой средней и тяжёлой степени (без лечения) развивается при дозах облучения 1 ÷ 2, 2 ÷ 4, 6 и более Гр, а при внутреннем облучении развитие лучевой реакции и лёгкой степени болезни можно ожидать при поступлении в организм $3.7 \cdot 10^4$ Бк (1 мКи) и $7.4 \div 14.8 \cdot 10^4$ Бк (2 ÷ 4 мКи) соответственно. В результате небрежного хранения источников ^{137}Cs зарегистрированы поражения людей. Особое внимание вызвал известный случай массового облучения населения в г. Гойяне (Бразилия). Медицинский источник цезия активностью $51.8 \cdot 10^{12}$ Бк был выброшен на свалку и найден местными жителями как металлолом. Пострадало 244 человек, у 9 человек дозы внешнего облучения превысили 5 Гр, у 5 человек развилась ОЛБ тяжёлой степени. Внешнее облучение сопровождалось внутренним облучением и кожными поражениями.

Стронций [Sr]. Известны 4 стабильных изотопа стронция: ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr , ^{88}Sr . Его кларковое содержание в земной коре по массе составляет $3.4 \cdot 10^{-2}$. Природный стронций содержится в растениях и организмах человека и животных. В организме человека находится около 0.3 г и почти весь он депонирован в костях. Взрослому человеку с пищей и водой поступает ежедневно около 2 мг стронция. Его избыток вызывает стронциевый рахит (ломкость костей) и другие заболевания.

Стронций достаточно широко используют в различных технологиях и медицине. Радиоактивные изотопы стронция содержатся в ПЯД урана и плутония. Из радиоизотопов с массовыми числами 81 ÷ 83, 85, 89 ÷ 96 наибольшее практическое значение имеют бета-излучающие изотопы ^{89}Sr ($T_{1/2} = 50.5$ сут., $E_{\beta} = 0.58$ МэВ) и ^{90}Sr ($T_{1/2} = 29.1$ лет, $E_{\beta} = 0.2$ МэВ). Дочерний радионуклид — ^{90}Y ($T_{1/2} = 6.4$ час., $E_{\beta} = 2.18$ МэВ).

При делении урана и плутония образуются цепочки



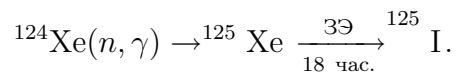
${}^{90}\text{Sr}$ относится к наиболее биологически значимым радионуклидам ПЯД и, как долгоживущий радионуклид, является основным компонентом глобального загрязнения внешней среды, обусловленного испытаниями ядерного оружия и выбросами (авариями) предприятиями атомной энергетики. В организм человека радиостронций может поступать ингаляционно, перорально и через кожные покровы. Всасывание при ингаляционном и пероральном поступлении составляет $0.1 \div 0.6$. Независимо от пути поступления нуклид в основном депонируется в скелете. Величина отложения зависит от возраста, пола, характера питания и других факторов. В мягких тканях содержится менее 1 % стронция. Из организма он выводится через кишечник и почки. Примерно 70 % активности выводится в первые месяцы, остальная часть выводится очень медленно. Клиническая картина поражения проявляется лейкопенией, лимфопенией, тромбоцитопенией. В патологический процесс вовлекаются и другие органы. Наиболее опасным является развитие в отдалённые сроки лейкозов и остеосарком (опухоли скелета). Минимальная остеосаркомогенная доза равна около 10 Гр. Встречаются опухоли и в других органах. ${}^{85}\text{Sr}$ и ${}^{87m}\text{Sr}$ (короткоживущие) находят применение в медицине для диагностики опухолей и в качестве аппликаторов в дерматологии, ольфтамологии и др.

Йод [I]. Природный йод представлен одним изотопом — ${}^{127}\text{I}$, являющимся микроэлементом и одним из важнейших биогенных элементов. Йод входит составной частью в тироксин — гормон, синтезируемый щитовидной железой и обеспечивающий гомеостаз организма. Кларковое содержание ${}^{127}\text{I}$ в земной коре равно $4 \cdot 10^{-5}$ % по массе. Многие районы (в России около 50 % всей территории) характеризуются дефицитом йода в продуктах питания и воде — основных источниках поступления элемента человеку. Недостаток йода является причиной распространения в этих районах эндемического зоба у местного населения. Основным резервуаром йода является мировой океан, в 1 литре воды которого содержится $54 \cdot 10^{-5}$ г йода. Остальные изотопы йода с массовыми числами $115 \div 126$, $128 \div 141$ радиоактивны. Практическое значение имеют ${}^{125}\text{I}$, ${}^{131\div 135}\text{I}$. В продуктах деления урана и плутония на долю ${}^{131\div 135}\text{I}$ приходится около 20 % бета-активности молодых ПЯД. Они, несмотря на ко-

роткие сроки жизни: $^{131}\text{I} - T_{1/2} = 8.04$ сут., $^{132\div 135}\text{I} - T_{1/2} =$ часы), представляли основную опасность для населения в зонах ближних выпадений радионуклидов, а также при радиационных авариях на АЭС. Поступив во внешнюю среду, радиойод включается в процессы миграции, поступающая населению в основном по пищевым цепочкам: растения \rightarrow человек, растения \rightarrow животные \rightarrow человек, вода \rightarrow гидробионты \rightarrow человек. Особое значение, как источник радиойода, имеют молоко и листовая зелень.

Радиойод интенсивно всасывается (до 100 %) и в основном накапливается в щитовидной железе (30 % и более). Даже при поступлении небольших количеств йода, учитывая малую массу щитовидной железы (у детей несколько грамм, у взрослых ≈ 30 г), в ней формируются большие дозы, приводящие к нарушению широкого спектра функций и возможному развитию злокачественных опухолей не только в щитовидной железе, но и других эндокринных железах и органах, имеющих тесную функциональную связь с щитовидной железой (молочные железы, гонады). Особую опасность представляет поступление радиойода детям. Радиационное повреждение щитовидной железы может сказаться не только на возможном развитии у детей злокачественных опухолей, но и на их физическом и психическом развитии. Известно, что количество рака щитовидной железы у детей в зонах радиоактивного загрязнения при аварии на ЧАЭС значительно превысило прогнозируемое количество и их диагностировали в ранние сроки.

Радиоактивный йод, особенно ^{131}I и ^{125}I , широко используется в медицине для целей диагностики и лечения. ^{125}I получают по реакциям:



^{131}I извлекают из ПЯД, а также получают при облучении теллура нейтронами: $^{131}\text{Te}(n, \beta)^{131}\text{I}$.

Плутоний [Pu]. Плутоний относится к трансурановым элементам. Известны 15 радиоактивных изотопов с массовыми числами от 232 до 246, имеющих $T_{1/2}$ от 0.18 с (^{237m}Pu) до 70 млн. лет (^{244}Pu). Практическое значение имеют радиоизотопы $^{236\div 246}\text{Pu}$, образующиеся в ядерных реакторах. Наибольший интерес представляет ^{239}Pu ($T_{1/2} = 2.44 \cdot 10^4$ лет), используемый как делящийся материал в ядерных боеприпасах. Нуклид получают из урана, облучаемого нейтронами в специальных реакторах. Выделяют плутоний необходимой чистоты из облучённого урана на радио-химических заводах. Плутоний, как альфа-излучающий радионуклид с большим сроком жизни, считается одним из наиболее опас-

ных при поступлении в организм человека. Он испускает также мягкое гамма- и рентгеновское излучение.

В организм человека плутоний может поступать в основном ингаляционно и через повреждённые кожные покровы (раны, ожоговые поверхности). Задержка нуклида в лёгких зависит от дисперсного состава ингалированных аэрозолей. В местах их задержки формируются высокие дозы, 50 % дозы формируется в пределах вероятной продолжительности жизни человека. Всасывание плутония в кишечнике низкая, для труднорастворимых соединений — $3 \cdot 10^{-5}$, комплексных соединений — около 2. У детей всасываемость нуклида значительно выше. Всосавшийся плутоний депонируется в основном в скелете и печени. Из организма он выводится медленно. В отдалённые сроки поступление плутония в организм может вызвать развитие остеосарком и рака лёгкого. Пострадавшие нуждаются в лечении в специализированных клиниках. В мире накоплено большое количество плутония. Не исключается возможность того, что он может оказаться у террористов и использоваться для террористических радиационных актов. Для последних целей не требуется такого количества и чистоты плутония, как для конструирования ВЯУ.

Для исключения возможности радиационного террора необходимо:

- резко ужесточить контроль за производством, хранением, эксплуатацией, списанием радиоактивных источников;
- менять радиоактивные источники в разных технологиях на источники с меньшей токсичностью;
- менять радиационные технологии на технологии без источников (например, использующие ускорители для генерации излучения).

В случае радиационного террористического акта основной задачей защиты населения является:

- предотвращение детерминистических эффектов у населения путём ограничения доз облучения ниже порога их возникновения;
- принятие обоснованных мер по снижению вероятности индуцирования отдалённых стохастических последствий облучения — канцерогенных и генетических с учётом медицинских и социально-экономических факторов.

В начальный период снижение доз облучения достигается:

- экстренной эвакуацией населения;

- временным укрытием;
- защитой органов дыхания, кожных покровов, слизистых;
- оказанием экстренной помощи (поражения могут носить сочетанный характер — облучение с механическими травмами, ожогами).

В последующем необходимы:

- постоянное или временное отселение населения с загрязнённых территорий;
- дезактивирование зданий, сооружений, территорий;
- радиационный контроль, нормирование, бракераж продуктов питания, имеющих уровни загрязнения выше регламентированных;
- ограничение действия других вредных нерадиационных факторов;
- повышение резистентности и антиканцерогенной защиты людей.

Оказание первой помощи и последующей определяется физико-химическими характеристиками радионуклидов, использованных террористами. Необходим дозиметрический контроль и комплексные меры по ускорению выведения радионуклидов, поступивших в организм пострадавших. При проведении этих мероприятий пользуются соответствующими инструкциями. Нельзя откладывать проведение мер защиты до получения полных данных дозиметрического контроля сложившейся радиационной обстановки.

Террористы это опасный противник и не следует его недооценивать. Возможность террора касается всех стран и борьба с ним должна носить скоординированный международный характер. Вряд ли эта борьба будет успешной, если в ней будут преобладать политические мотивы, стремление разделить террористов на "плохих" — наносящих ущерб данной стране или блоку, и "хороших" — которые ведут борьбу против политических или экономических конкурентов, ослабляя их.