



Бронебойные снаряды на основе обедненного урана и последствия их применения для окружающей среды и людей

М.В. Супотницкий

Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр» Министерства обороны Российской Федерации, 111024, Российская Федерация, г. Москва, проезд Энтузиастов, д. 19
e-mail: 27nc_1@mil.ru

Поступила 22.02.2023 г. Принята к публикации 27.03.2023 г.

Поставки коллективным Западом вооруженным силам Украины бронебойных снарядов с сердечниками (пенетраторами) из обедненного урана (depleted uranium, DU) меняют ситуацию в зоне специальной военной операции (СВО). В боевые действия вводится новый поражающий фактор – уран-238 (^{238}U), один из самых долгоживущих природных радиоактивных изотопов урана. Цель обзора – выявить признаки и последствия применения бронебойных снарядов на основе обедненного урана. Материалы и методы исследования. Анализировались источники, доступные через базы данных PubMed, Google Scholar и Российской электронной библиотеки. Результаты исследования. НАТО использует DU в снарядах калибров 20, 25, 30, 105, 120 и 140 мм. Сердечники изготавливаются из рециклированного DU, являющегося отходом производства ядерного оружия. За счет техногенных изотопов он более радиоактивен, чем DU из природного урана. При попадании такого снаряда в бронеемкость образуется большое количество респираторной радиоактивной и токсичной пыли окислов урана черного цвета, мелких осколков и фрагментов пенетратора, остающихся в бронетехнике и вокруг нее. Один 120-мм снаряд образует примерно 950 г токсичной радиоактивной пыли. Почти 99 % внутренней дозы, полученной военнослужащим, придется на альфа-частицы, наиболее опасные для здоровья. Не попавшие в цель снаряды углубляются в почву, их пенетраторы десятилетиями подвергаются коррозии, выделяя в подземные источники воды растворимые соединения урана. На территориях, где применялись снаряды с DU, наблюдаются массовые заболевания «неясной этиологии» среди военнослужащих и мирного населения, снижающие продолжительность их жизни и фертильность. Обсуждение результатов и выводы. Утверждения, что DU безопасен и малорадиоактивен, являются дезинформацией. Первые признаки применения снарядов с DU, которые можно установить на поле боя: круглые отверстия в броне танков и наличие вокруг них и в самом танке твердой черной пыли. При пожарах на складах таких снарядов, из-за других условий окисления, образуется рассыпающаяся пыль желтого цвета. При исследовании пыли DU необходимо обратить внимание на наличие повышенных концентраций ^{236}U . Факт поражения DU военнослужащего можно подтвердить по наличию урана в его моче. Применение снарядов с DU на территории Российской Федерации по своим последствиям для людей и природы – это применение радиологического оружия, замаскированная форма ведения ядерной войны. И к ней необходимо относиться соответствующим образом.

Ключевые слова: аэрозоль; боеприпасы с обедненным ураном; коррозия; обедненный уран; пенетратор; противотанковый снаряд; радиотоксичность; урановый сердечник; хемотоксичность; U-234; U-235; U-238.

Библиографическое описание: Супотницкий М.В. Бронебойные снаряды на основе обедненного урана и последствия их применения для окружающей среды и людей // Вестник войск РХБ защиты. 2023. Т. 7. № 1. С. 6–23. EDN: rhsvza. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-1-6-23>

К настоящему времени стало очевидно, что коллективный Запад поставил вооруженным силам Украины бронебойные снаряды с сердечниками¹ из обедненного урана (depleted

uranium, DU). Тем самым Запад демонстрирует миру и России, что для него нет предела в эскалации российско-украинского конфликта. Одновременно меняются и военная ситуация,

¹ В западной научной литературе такие сердечники кинетических снарядов называют пенетраторами (англ. penetrator – тот, кто вторгается).

и ситуация «после войны». Помимо более эффективных противотанковых боеприпасов, в зоне специальной военной операции (СВО) появляется новый поражающий фактор – уран-238 (^{238}U), один из самых долгоживущих природных радиоактивных изотопов урана. После попадания в броню танка или другой бронированной машины, он начинает самостоятельное существование в окружающей человека среде в виде радиоактивных фрагментов уранового сердечника и мелкодисперсных токсичных аэрозолей и радиоактивной пыли.

Цель работы – выявить признаки и последствия применения бронебойных снарядов на основе обедненного урана.

Для достижения данной цели был проведен анализ доступной информации по истории создания и применения кинетических боеприпасов, использующих пенетраторы на основе DU. Исследовались особенности и номенклатура таких снарядов, характерные признаки их применения, токсические и радиотоксические свойства DU, вызываемая патология у людей и особенности нахождения DU в окружающей среде.

Материалы и методы

Анализировались источники, доступные через базы данных PubMed, Google Scholar и Российской электронной библиотеки. Для первого поиска публикаций в англоязычных ресурсах применялись следующие условия поиска и логические операторы: «corrosion of depleted uranium»; «depleted uranium munitions»; «depleted uranium aerosols»; «depleted uranium or radiation dose or pyrophoricity». После просмотра аннотаций из выборки удаляли нерелевантные статьи. На первом этапе работы отобрано 43 обзорных статьи; на втором – отбор источников проводили ручным поиском по ссылкам, приведенным в обзорных работах. Отбирали и анализировали информацию, необходимую для достижения цели исследования. Анализ информации проводили от общего к частному. Источники, выявленные в неиндексируемых изданиях, в «Список источников» не вносили, а указывали в сносках на соответствующих страницах текста статьи.

Общие сведения об обедненном уране.

Уран – природный металлический элемент, токсичный и слаборадиоактивный. Он повсеместно распространен в природной среде со средней концентрацией 3 мг/кг в земной коре и 3,0 мкг/л – в морской воде [1]. Природный уран (U) представляет собой смесь трех радио-

активных изотопов ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U (0,0054, 0,72 и 99,27 % соответственно). ^{235}U – делящийся изотоп, это свойство используется в ядерных реакторах (тепловыделяющие элементы) и ядерном оружии. Изотопы U распадаются с испусканием альфа-, бета- и гамма-лучей, проявляя как хемотоксичность, так и радиотоксичность у людей и животных [2].

В организме человека содержится в среднем 0,09 г урана. Он распределен так: примерно 66 % – в скелете, 16 % – в печени, 8 % – в почках и 10 % – в других тканях [3].

Уран природного изотопного состава используется в качестве топлива только в тяжеловодных реакторах. Для большинства реакторов требуется обогащение изотопа ^{235}U от 0,72 до 3–5 % по массе; это достигается с помощью разности масс изотопа посредством газового центрифугирования [4].

Уран с содержанием ^{235}U более 85 % называется оружейным ураном, с содержанием более 20 % и менее 85 % – ураном, годным к оружейному применению. В настоящее время бомбы из урана, по-видимому, нигде не производятся (плутоний вытеснил уран из ядерного оружия), но перспективы ^{235}U сохраняются благодаря простоте пушечной схемы урановой бомбы² и возможности расширенного производства таких бомб при неожиданно возникшей необходимости [3, 5].

DU является отходом, главным образом, производства ядерного оружия. После извлечения ^{235}U из природного U, оставшийся материал носит название «обедненный уран», так как он «обеднен» изотопами ^{235}U и ^{234}U (т.е. примерно 0,0006 % – ^{234}U , 0,2 % – ^{235}U и 99,8 % – ^{238}U). Его изотопный состав варьируется в зависимости от того, как он был получен. При производстве 1 кг обогащенного уранового топлива с содержанием ^{235}U 3 % образуется около 5 кг отходов в виде DU. Также DU может быть получен путем переработки отработанного топлива ядерного реактора [4, 6, 8]. На 2014 г. его мировые запасы составляли около 1,5 млн т [9].

Почти половина излучения урана приходится на изотоп ^{234}U . Уменьшенное содержание ^{234}U (порядка 0,001 %) в DU снижает его радиоактивность почти вдвое по сравнению с природным ураном, при этом уменьшение содержания ^{235}U практически не сказывается на радиоактивности DU. DU излучает на 15 % меньше гамма-излучения, чем природный U. Бета-излучение DU почти идентично природному U. Радиоактивность природного урана

² Суть пушечной схемы заключается в выстреливании зарядом пороха одного блока делящегося материала докритической массы («пулей») в другой – неподвижный («мишень»). Блоки рассчитаны так, что при соединении с некоторой расчетной скоростью их общая масса становится надкритической раньше, чем блоки испарятся. Классическим примером пушечной схемы является бомба «Малыш» («Little Boy»), сброшенная на Хиросиму 6 августа 1945 г. [3].

составляет примерно 25,40 мБк/мкг³, а DU – 14,80 мБк/мкг. Таким образом, удельная активность DU, а также его радиотоксичность, составляют около 60 % радиоактивности и радиотоксичности природного урана [6, 7, 10]. Но это верно, если считать по альфа-излучению, а если учитывать радиоактивность бета- и гамма-излучений, производимых дочерними изотопами DU или продуктами распада, такими как торий-234 и протактиний-234, то радиоактивность DU составляет 75 % от природного U, что не так уж и мало [4]. Даже если считать радиоактивность DU низкой, она все же присутствует и полностью игнорировать радиационные риски от DU неблагоразумно [11].

Химическая токсичность DU такая же, как у природного U, поскольку она не зависит от изотопного состава U. При более низких концентрациях, таких как 0,2 %, токсический эффект DU, в основном, обусловлен химическими, а не радиационными эффектами [7, 12, 13]. Химическая токсичность преобладает над радиационной у растворимых соединений урана, например, уранила⁴ [14, 15].

U и DU могут существовать во многих химических формах [3–5, 14]:

Оксиды урана⁵ – U_3O_8 , UO_2 и UO_3 – твердые вещества, относительно стабильные в широком диапазоне условий окружающей среды, с низкой растворимостью в воде и в тканях организма человека. U_3O_8 – наиболее стабильная форма U и наиболее часто встречается в природе. Диоксид урана UO_2 – твердый керамический материал (англ. solid ceramic material). Представляет собой форму уранового топлива, обычно используемого в легководных реакторах, тяжеловодных реакторах и реакторах-размножителях на быстрых нейтронах. При комнатной температуре UO_2 постепенно превращается в октаоксид триурана (U_3O_8) – наиболее кинетически и термодинамически

стабильную форму U. Плотность его частиц составляет 8,3 г/см³.

Гексафторид урана (Uranium hexafluoride, UF_6) – нестабильное соединение шестивалентного урана и фтора. При нормальных условиях он пребывает в твердом состоянии (в 1,7 раза выше плотности свинца) и принимает разные формы – от частиц наподобие каменной соли до сплошной твердой массы. UF_6 может быть твердым, жидким или газообразным в диапазоне температур и давлений. Быстро реагирует с водой или водяным паром, образуя высококоррозионный фтороводород (HF) и фторид уранила (UO_2F_2).

Уран *металлический* – серебристо-белый, податливый и пластичный металл, не так стабилен, как оксид урана, и будет подвергаться поверхностному окислению. Он тускнеет на воздухе, а оксидная пленка предотвращает окисление основного материала при комнатной температуре. Порошок или стружка металлического урана самовозгораются на воздухе при температуре окружающей среды.

Почти для всех практических целей DU и U можно рассматривать как одно и то же вещество [5].

Для атомной энергетики DU – бесполезный продукт с низкой экономической ценностью. Но такие его свойства, как очень высокая плотность – 19,3 г/см³ (карбид вольфрама – 17 г/см³; свинец – 11,3 г/см³; сталь – 7,9 г/см³), делают его полезным в гражданской сфере, например, в противовесах для самолетов, в легированных специальных сталях, в качестве катализаторов в нефтяной и газовой промышленности, в качестве грузил для нефтяных скважин и для радиационной защиты⁶. Часть российского DU использовалась для разбавления российского оружейного урана (~90 % ²³⁵U) до урана реакторного качества (~5 % ²³⁵U), предназначенного для АЭС США⁷. Военное применение DU находят, в основном, в пенетрирующих боеприпасах и

³ Беккерель (русское обозначение: Бк; международное: Bq) – единица измерения активности радиоактивного источника в Международной системе единиц (СИ). Один Бк определяется как активность источника, в котором за одну секунду происходит в среднем один радиоактивный распад. Бк – маленькая единица измерения, на практике обычно используются кратные единицы, образованные с помощью десятичных приставок. Для измерения удельной (массовой), объемной и поверхностной активности используются, соответственно, единицы: Бк/кг, Бк/м³, Бк/м².

⁴ Уранил – комплексобразующий ион в степени окисления 6+ – $(UO_2)^{+2}$. Соли, содержащие ионы уранила, активно реагируют с различными биологическими молекулами. Более подробно см. в работе С.В. Гудкова с соавт. [15].

⁵ Все соединения урана являются ядами общетоксического и радиотоксического действия. В России соединениям урана присвоен первый класс опасности.

⁶ Подробный обзор использования обедненного урана в гражданских целях представлен М. Betti [16].

⁷ В рамках сделки 1993 г. «Гор–Черномырдин». См. URL: <https://aftershock.news/?q=node/102920&full> (дата обращения: 01.02.2023).

в качестве защитной брони для танков Абрамс M1A1 и M1A2 – лобовая проекция башни [1, 9].

Интересующее нас применение DU – сердечники для бронебойных снарядов⁸. При определенном сплаве с другими металлами и термической обработке (сплавление с 2 % молибдена или 0,75 % титана⁹, быстрая закалка разогретого до 850 °С металла в воде или масле, дальнейшее выдерживание при 450 °С 5 ч), металлический уран становится тверже и прочнее стали (прочность на разрыв >1600 МПа)¹⁰. В сочетании с большой плотностью, это делает закаленный уран чрезвычайно эффективным для пробивания брони, аналогичным по эффективности существенно более дорогому монокристаллическому вольфраму [3].

Существуют два типа DU в зависимости от его источника, то есть от переработки или от добытой урановой руды. DU, используемый вооруженными силами США, содержит техногенный изотоп ²³⁶U (в концентрации 0,0003 %), которого нет в природном (т.е. добытом) уране¹¹. Этот техногенный изотоп возникает только в ядерных реакторах, и его присутствие указывает, что использованная партия DU содержала некоторое количество урана из отходов переработки отработанного ядерного топлива. В таких боеприпасах с DU обнаруживаются ⁹⁹Tc (технеций), ²³⁷Np (нептуний), ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu (изотопы плутония) и ²⁴¹Am (изотоп америция). DU из уранового топлива более радиоактивен, чем DU, полученный из природного урана. Другие примеси в DU (например, Ti, Zr, Al и Cu) вводятся в процессе его производства [5, 19, 20].

Типы боеприпасов с обедненным ураном.

Работы по использованию урана в кинети-

ческих бронебойных боеприпасах начались в Германии перед Второй мировой войной с создания снарядов на основе сердечников, состоящих из сплава стали с присадкой урана¹². Это серьезно ограничило работы по созданию атомной бомбы. Когда атомщикам в 1939 г. для экспериментов потребовался оксид урана, то оказалось, что он почти весь уже закуплен армейским департаментом, предполагавшим выпускать бронебойные снаряды [21].

Летом 1943 г. Португалия, по настоянию союзников, прекратила экспорт вольфрама в Германию¹³. Его нехватку для производства сердечников бронебойных снарядов из вольфрамовых сплавов немецкие оружейники стали восполнять стальными сплавами с присадками урана. Альберт Шпеер (нем. Albert Speer; 1905–1981), рейхсминистр вооружения и военного производства Германии, в конце 1943 г. был вынужден передать 1,2 тыс. т оксида урана на военные заводы Круппа, что фактически означало отказ от реализации программы создания атомной бомбы [22].

Одной из причин, по которой DU начали использовать в снарядах, стала его цена. Он практически ничего не стоил, но при этом имел высокую плотность, сравнимую с вольфрамом. Важными свойствами сплавов на основе DU оказались следующие:

способность к самозатачиванию при ударе о броню танка при скоростях до 1600 м/с, вольфрамовые сердечники на таких скоростях расплющиваются;

способность к самовоспламенению образующихся при таком ударе фрагментов (пирофорность)¹⁴, обеспечивающая повышенное забронеовое действие по сравнению со снаря-

⁸ Противотанковые снаряды – не единственные пенетрирующие боеприпасы. Вооруженные силы США используют корпус из обедненного урана для термоядерного боеприпаса W61-11, предназначенного для разрушения бункеров. Бомба принята на вооружение в 1997 г. К моменту ее столкновения с землей она может набрать скорость до 610 м/с и углубиться в сухой грунт средней плотности на глубину до 6 м. Этого вполне достаточно для того, чтобы основная часть выделившейся при взрыве энергии (до 90 %) ушла в сейсмическую волну [12].

⁹ В боеприпасах НАТО для улучшения прочности DU, его коррозионной стойкости и обрабатываемости (пластичности) используется около 0,75 % титана – сплав DU-Ti [17], в российских – сплав УПЦ (уран-цинк-никель) [18].

¹⁰ Паскаль (Па) – единица измерения давления (механического напряжения) в Международной системе единиц (СИ). На практике применяют приближенные значения: 2 атм = 0,2 МПа и 2 МПа = 20 атм.

¹¹ Такой DU также содержит небольшое количество продуктов деления ²³⁵U и трансурановых элементов [19].

¹² Присадки (в металлургии) – материалы, вводимые в жидкий металл с целью изменения состава и свойств металла. В данном случае преследовалась цель повышения ударной вязкости и прочности бронебойного снаряда.

¹³ Немецкие запасы вольфрама иссякли еще в 1940 г. За него Германия платила золотом. Более подробно о поставках вольфрама из Португалии в Германию во время Второй мировой войны см. в работе А.М. Хазанова [23].

¹⁴ Пирофорность – способность твердого материала в мелкодробленном состоянии к самовоспламенению на воздухе при определенных условиях (размер частиц, их геометрия, площадь поверхности, концентрация, температура окружающей среды, теплопроводность материала и др.). Для сферических частиц диаметром 0,15, 0,6 и 1,2 см металлического урана температуры воспламенения, определенные в Аргоннской национальной лаборатории (США) в 1950-х гг., составляют 333, 375 и 399 °С соответственно. Порошки неправильной



Рисунок 1 – Отверстие в башне иракского танка, образовавшееся после попадания снаряда с сердечником из DU [25]

дами на основе вольфрамовых сердечников [3, 4, 17, 18].

Эти два явления (самозаточиваемость и пирофорность) связаны между собой – высокая температура, возникающая при ударе уранового penetrатора о сталь, воспламеняет его поверхность, и по мере плавления урана снаряд заостряется, что увеличивает его способность пробить тяжелую броню. Удары снарядов с обедненным ураном характеризуются круглыми входными отверстиями [9] (рисунок 1).

В 1960-х гг. работы по созданию броневой снарядов, содержащих сердечники из DU, начались в Великобритании; в 1980-х гг. – в США. В начале 1980-х гг. они активизировались в связи с программой разработки кинетических броневых боеприпасов¹⁵, стимулированной Холодной войной, и были направлены на масштабные столкновения с советскими танками в Европе [2, 17].

Танковые снаряды с penetrаторами из DU массой 5 кг обладают при вылете из дула пушки кинетической энергией, эквивалентной взрыву 1,4 кг тротила¹⁶ (при скорости 1500 м/с). При встрече с бронированной целью она выделяется примерно за 0,3 мс. Кинетическая энергия 30-мм penetrаторов для скорострельной пушки эквивалентна 50 г тротила (при скорости 1000 м/с). Ее скорость выделения $\approx 0,1$ мс [26].

Высокая начальная скорость penetrатора достигается за счет использования снаряда с

малой массой и большой площадью основания в стволе орудия, позволяющей получить максимальное ускорение от метательного заряда. Стрельба снарядом малого диаметра, «завернутым» в легкую внешнюю оболочку, называемую башмаком или поддоном (англ – sabot), увеличивает его начальную скорость. Как только снаряд вылетает из ствола, башмак больше не нужен, и он отваливается. Это оставляет снаряд, летящий с высокой скоростью, с меньшей площадью поперечного сечения и уменьшенным аэродинамическим сопротивлением во время полета к цели – такой снаряд называют *подкалиберным* [18].

Описанные далее кинетические снаряды с penetrаторами из обедненного урана относятся к броневым оперенным подкалиберным снарядам (БОПС), т.е. к подкалиберным снарядам, стабилизируемым в полете вращением. Это достигается тем, что на лопастях стабилизатора снаряда имеются односторонние скосы, служащие для поддержания вращения снаряда на траектории за счет воздействия боковой составляющей силы сопротивления воздуха. Такое вращение с относительно небольшой угловой скоростью (15–20 об/с) улучшает кучность попадания в цель. Устойчивость снаряда в полете, его сверхзвуковая скорость и небольшое поперечное сечение сердечника позволяют сосредоточить большую кинетическую энергию на малой площади контакта с броней. Большая относительная длина сердечника (10 и более диаметров корпуса) обеспечивает ему высокую бронепробиваемость, а пластичность высокоплотного сплава урана – высокую бронепробиваемость под большими углами [18] (рисунки 2 и 3).

Первоначально такие снаряды разрабатывались для танковых нарезных орудий калибра 105 мм. В настоящее время в НАТО осуществлен переход танковых пушек на калибр 120 мм (танки Abrams M1A1 и M1A2 – США; Leopard-1, Leopard-2 – ФРГ; Leclerc – Франция; Тип 90 – Япония). В основном применяются гладкоствольные орудия. Исключение составляют британские танки – Chieftain (Вождь) и Challenger (Бунтарь), оснащенные 120-мм нарезными пушками L11F5 и L11A7. В вооруженных силах США имеется широкий спектр выстрелов с DU для стрельбы из танков, самолетов и кораблей. В таблице 1 приведены харак-

формы имеют более высокую удельную поверхность, чем сферические, и их температура воспламенения значительно ниже. Для таких порошков со средним диаметром 6,2–200 мкм она приблизительно соответствует 150–200 °С. Изменение концентрации гелия от 33 до 60 % вызывало равномерное повышение температуры воспламенения металлического урана от 615 до 955 °С. В 80 % атмосфере гелия при температуре 955 °С (предел измерения) воспламенения урановых порошков не наблюдалось [24].

¹⁵ Кинетические броневые боеприпасы подробно описаны в работе А.А. Бабкина с соавт. [18].

¹⁶ При взрыве 1 кг тротила выделяется около 4 МДж энергии [26].

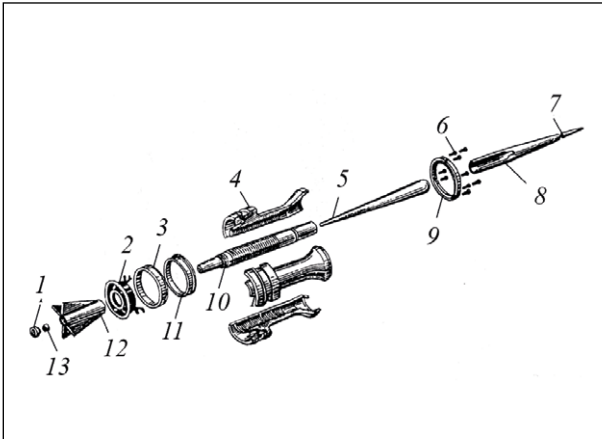


Рисунок 2 – Схема 105-мм БОПС М735 (США). 1 – гайка трассера; 2 – основание обтюлятора; 3 – наружное (поворачивающееся кольцо) обтюлятора; 4 – сектор ведущего устройства (поддон, «башмак»); 5 – сердечник из DU; 6 – винт; 7 – малый баллистический наконечник; 8 – большой баллистический наконечник; 9 – направляющее кольцо поддона; 10 – корпус; 11 – внутреннее кольцо обтюлятора; 12 – стабилизатор; 13 – трассер. Рисунок из книги А.А. Бабкина с соавт. [18]



Рисунок 3 – Общая схема БОПС М829 А2 (США). А – схема снаряда. Б – боеприпас в разрезе (URL: <https://cezarium.com/wp-content/uploads/2017/04/M829A2.jpg> и https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.6089afa9-645fe8ec-d3fd4dd9-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/M829#/media/File:120mm_M829A2_APFSDS-T.jpg; дата обращения: 06.01.2023). Сверено с изображениями в книге А.А. Бабкина с соавт. [18]

теристики американских танковых снарядов, в которых используют penetrators из обедненного урана [18].

Боеприпасы с penetrators из DU также разработаны для использования пулеметами и скорострельными пушками малого калибра (20 мм, 25 мм, 30 мм). Они установлены на кораблях, боевых машинах, вертолетах и самолетах США и их союзников [12]:

ВМС США для поражения противокорабельных ракет (ПКР) используют 20-мм высокоскоростные бронебойные боеприпасы Mk 149 Mod 2 с penetratorом из DU диаметром около 12 мм и массой 180 г – противоракетный комплекс Mk 15 (Vulcan-Phalanx). При попадании в ПКР он вызывает мощный выброс тепловой энергии и мгновенную детонацию ее боевой части (именно это и требуется от зенитных комплексов самообороны кораблей, просто повредить ракету уже недостаточно – обломки срикошетят от воды и могут повредить корабль). Снаряды для стрельбы по наземным целям снабжены самоликвидаторами. Кроме США используются Великобританией и Израилем;

Корпус морской пехоты и армия США – легкие амфибийные машины (LAV), самолеты AV-8B Harrier, боевые машины Bradley – имеют возможность вести огонь 25-мм снарядами M791 APDS-T (бронебойный подкалиберный снаряд с трассирующим снарядом) с DU (200 г). Снаряды взаимозаменяемы с пушкой M242 Bushmaster, автоматической пушкой KBA B02B, пушкой Gatling GE525 (GAU-12/U) и другими системами, отвечающими требованиям НАТО;

штурмовая авиация (штурмовики А-10) и вертолеты «Апач» – используют 30-мм бронебойно-зажигательные снаряды PGU-14/B API. Снаряд имеет легкий алюминиевый корпус толщиной 0,8 мм, подкалиберный penetrator конической формы из DU-Ti. Радиус основания penetratorа – 0,8 см, длина – 9,5 см, масса – 280 г. Широко применялся американской армией в ходе косовско-сербского конфликта 1999 г. и Второй войны в Персидском заливе. Снаряд способен пробить стальную броню толщиной до 9 см. Это семейство боеприпасов также совместимо со всеми артиллерийскими системами калибра 30 мм [1, 17].

Самолет А-10 оснащен одной семиствольной авиационной пушкой «Авенджер» (GAU-8/A) схемы Гатлинга со вращающимся блоком стволов, скорострельностью 3,9 тыс. выстрелов в минуту. Типичная боевая нагрузка для А-10 составляет 1100 шт. 30-мм снарядов, уложенных в соотношении 5 снарядов с DU-Ti на один осколочно-фугасный снаряд. Типичная очередь из этого орудия имеет продолжительность 2–3 с и включает от 130 до 190 выстрелов. Снаряды попадают в цель по прямой со скоростью 1000 м/с. В зависимости от угла подхода штурмовика снаряды попадают в землю (цель) на расстоянии 1–3 м друг от друга и покрывают площадь около 500 м². Количество использованных penetratorов зависит от типа цели. В цель попадает не более 10 % снарядов [9].

Министерство обороны Великобритании в настоящее время использует 120-мм противотанковые снаряды.

Таблица 1 – Основные характеристики американских танковых снарядов, использующих пенетраторы из обедненного урана*

Индекс (страна)	Орудие	Год разработки	Скорость, м/с	Диаметр, мм	Длина, мм	Удлинение	Масса активной части, кг	Бронепробиваемость на 2 км, мм/60°	Бронепробиваемость на 2 км, мм/0°
Калибр 105 мм									
M774 (США)	M68	1979	1508	26	346	13,3	3,4	180	360
M833 (США)	M68	1983	1485	24	427	17,8	3,7	230	460
Калибр 120 мм**									
M829** (США)	M256	1986	1665	27	460	17	3,94	270–280	540–560
M829A1 (США)	M256	1990	1700	24,2	-	-	4,64	350	700
M829A2 (США)	M256	1992	1680	24,2	-	-	-	370	740
M829A3 (США)***	M254	2003	1640	22	800	36	6,0	400–420	800–830
Калибр 140 мм									
XM946****	XM291	1997	1800	24	870	36,2	-	450–500	900–1000

* А.В. Бабкин с соавт. [18].

** БОПС CHARM 3 (Великобритания); DM-43 и DM-53 (ФРГ); OFL120G1 (Франция); PROCIPC (Франция и Германия) – по своей эффективности близки к снарядам M829, в том числе и поздних модификаций.

*** БОПС M829A3 предназначен для поражения объектов с динамической защитой. Эта задача решена за счет композитного сердечника, включающего «лидирующий» стальной элемент и основной – урановый. Общая длина сердечника выросла до 800 мм, масса – до 10 кг. При начальной скорости 1550 м/с такой снаряд способен пробить не менее 700 мм брони с 2 км.

**** БОПС XM946 разработан для перспективной 140-мм танковой пушки XM291. В близкой перспективе длина пенетратора может быть увеличена до 900 и даже 1000 мм.

L26A1 APFSDS – разработан в рамках программы CHARM 1 (CHallenger ARMament 1; т.е. оружие Челленджера) и может вести огонь как из пушки L11, так и из пушки L30. Он имеет пенетратор с длинным стержнем из обедненного урана, окруженным башмаком из алюминиевого сплава. Комбинация выстрела L26A1 и заряда L14 известна как снаряд JERICHO (Jericho 1 с зарядом L8 и Jericho 2 с зарядом L14). Комбинация Jericho 1 была примерно на 15 % лучше по бронепробиваемости, чем L23A1 (пенетратор изготовлен из сплава вольфрама, никеля и меди с 6-лопастным алюминиевым оперением);

L27A1 APFSDS: также известный как CHARM 3 (CHallenger ARMament 3), оснащен более длинным пенетратором из обедненного урана (DU-Ti) радиусом 1,5 см, длиной 30 см и приблизительной массой 4500 г. Предназначен для поражения сложных массивов брони и усовершенствованных форм взрывной реактивной брони (explosive reactive armour – ERA)¹⁷. В 120-мм Тк APFSDS CHARM 3 используется более безопасный заряд L16A1 CCC

(Combustible Cartridge Case) и обозначается как CHARM 3A1 при использовании заряда L17. Поступил на вооружение в 1999 г. Начальная скорость снаряда составляет 1650 м/с.

Эти боеприпасы применяли в Ираке и Кувейте во время войны в Персидском заливе 1990–1991 гг. и вторжения в Ирак в 2003 г. [17].

Применение боеприпасов с обедненным ураном в боевых действиях. Боеприпасы с обедненным ураном применялись как минимум в четырех недавних конфликтах: ирако-кувейтский конфликт 1991 г. (Первая война в Персидском заливе), конфликт в Боснии и Герцеговине 1995 г., косово-сербский конфликт 1999 г. и война НАТО с Ираком (Вторая война в Персидском заливе), начавшаяся в 2003 г. (таблица 2).

В боевых действиях 1991 г. было уничтожено около 3700 иракских танков, но на снаряды с DU приходится не более 500 боевых машин. Танки M1A1 отстреляли 6700 выстрелов M829 (3,94 кг/DU) и 2348 выстрелов M829A1 (4,64 кг/DU). Они составляли примерно 14 % (по массе) от общего количества, выпущенного DU, но

¹⁷ Типа советского комплекса «Контакт-5», устанавливаемого на Т-90, Т-90А, Т-90С.

Таблица 2 – Сводная информация об использовании обедненного урана в боевых действиях*

Боевые действия	Снаряды	Масса DU, т
Ирако-кувейтский конфликт, 1991 г.	ВВС США, 30 мм	259
Ирако-кувейтский конфликт, 1991 г.	Армия США, 120-мм танковые снаряды	50
Ирако-кувейтский конфликт, 1991 г.	ВВС ВМФ США, авиация флота	11
Ирако-кувейтский конфликт, 1991 г.	Великобритания, танковые снаряды	1
Конфликт в Боснии и Герцеговине, 1995	НАТО, 30-мм снаряды	3
Косово-сербский конфликт, 1999 г.	НАТО, 30-мм снаряды	10
Война с Ираком, 2003**	НАТО, по типам снарядов нет данных	775
Всего попало в окружающую среду в результате боевых действий		1100***

* По S.A. Katz [9].

** Данные из работы I. Fairlie [5], ссылающегося на документ «US National Research Council. Review of toxicologic and radiologic risks to military personnel from exposure to depleted uranium during and after combat. Washington (DC): National Academies Press; 2008».

*** Данные обоих источников суммированы (325+775). В это количество не входит DU, выброшенный в окружающую среду во время взрыва и пожара 11.07.1991 г. на складе боеприпасов в Кэмп Доха (Кувейт) и учебных стрельб в Саудовской Аравии.

более половины этого количества было отстреляно на полигонах в Саудовской Аравии¹⁸ [12].

Самолеты А-10 уничтожили около 1000 иракских танков. В отчете Министерства обороны Конгрессу отмечается: «Фактически, более 90 % уничтоженных танков, приписываемых А-10, были уничтожены с помощью ракет Mavericks, а не его 30-мм пушкой GAU-8» (рисунок 4) [12].

Во время войны в Ираке 2003 г. Минобороны Великобритании выпустило приблизительно 2 т DU; количество DU, выпущенное вооруженными силами США, указывают в пределах от 170 до 1700 т [17].

В реальном бою от 80 до 90 % выпущенных танковых снарядов попадают в цель [12]. Роль в боевых действиях авиационных снарядов оказалась переоцененной. Примерно 80 % DU (по

массе), отстрелянного во время ирако-кувейтского конфликта, приходилось на самолеты и в основном они в цель не попали [12, 27]. Самолеты А-10 нанесли 112 ударов снарядами с DU по 85 целям в Косово, десяти целям в Сербии и одной цели в Черногории. Использование боеприпасов с DU США и их союзниками в войне в Афганистане остается неясным. Заявления о применении боеприпасов с обедненным ураном в Афганистане не подтверждены ни американскими военными, ни независимыми расследованиями [12].

Приведенные факты опровергают утверждения о превосходстве и незаменимости снарядов с DU, им есть альтернатива в виде других эффективных противотанковых средств, не оставляющих длительных последствий для окружающей среды [12].



Рисунок 4 – Основной убийца танков в ходе ирако-кувейтского конфликта 1991 г. – AGM-65 Maverick – ракета класса «воздух–земля». Предназначена для непосредственной поддержки с воздуха. Это наиболее широко производимая высокоточная управляемая ракета в западном мире. Масса – 210–304 кг. Длина – 249 см. Диаметр – 30 см. Кумулятивный заряд WDU-20/B – 57 кг. Наведение лазерное инфракрасное и электронно-оптическое. Дальность полета ракеты – более 22 км (URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.e9edede2-6460e3bb-19a44cff-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/AGM-65_Maverick; дата обращения: 12.02.2023)

¹⁸ Количественные данные по уничтоженной иракской бронетехнике в разных источниках могут не совпадать и иметь фантазийный характер.



Рисунок 5 – Фрагмент разбившегося пенетратора из DU в почве Испытательного полигона Юма (Yuma Proving Ground, YPG) в Западной Аризоне. Характерный вид: тонкий стержень (немного толще авторучки), покрытый желтыми продуктами коррозии DU. Желтый цвет ему придают шозэпит и меташозэпит – гидратированные оксиды урана(VI). Благодаря примеси титана, коррозия развивается локальными участками на поверхности пенетратора [28]

Распространение фрагментов и аэрозоля частиц обедненного урана после удара о грунт и броню танка. Пенетраторы, попавшие в грунт, как правило, остаются целыми или разбиваются на несколько крупных фрагментов (рисунок 5).

Когда пенетратор достигает бронированной цели, примерно 10–35 % массы DU (в зависимости от материала и толщины их брони, максимум 70 %) превращается в аэрозоль, немедленно сгорающий с образованием малорастворимых оксидов урана, сохраняющихся в высоких концентрациях в закрытых помещениях, таких как танки или бункеры. Выжившие члены экипажей подбитых танков обычно получают поражение аэрозолем DU и ранения раскаленными фрагментами его уранового сердечника, остающимися в их теле в течение длительного времени¹⁹. Большая часть сгоревшего аэрозоля DU рассеивается ветром в виде пыли, состоящей из оксидов урана диаметром от 0,1 до 10 мкм [5, 26].

В ходе реальных стрельб было установлено, что в месте удара пенетратора в броню танка

температура составляла не менее 600 °С, давление в танке поднималось до 6 и 15 бар²⁰ соответственно для башни (пробивание) и гласиса (взрыв) [30].

Средние аэродинамические диаметры (AMAD)²¹ частиц, образовавшихся при ударе пенетратора с DU о танк, варьировали от 0,8 до 7,5 мкм, т.е. представляли собой респираторную фракцию аэрозоля, проникающую в глубокие отделы легких человека (терминальные бронхи, альвеолы) [31]. Частицы, собранные в отверстиях, сделанных в бронетехнике пенетраторами из DU, имели средний размер 13 мкм [9].

Данные испытаний, проведенных в США, показывают, что обычно около 20 % пенетратора (средняя величина для таких расчетов) с DU распыляется при попадании в танк. Таким образом, при попадании одного 120-мм снаряда из танка с DU в танк противника может образоваться примерно 950 г черной пыли из обедненного урана. За один раз при атаке самолета А-10, стреляющего очередями из 30-мм боеприпасов, от пяти до 16 снарядов с обедненным ураном могут попасть в цель, создав аэрозоль массой от 300 до 960 г [12].

Размер и химическая форма частиц DU отражают условия, в которых они образовались [17]. Пыль DU, образующаяся в результате удара пенетратора о броню танка, имеет черный цвет. На многих объектах, подвергшихся воздействию боеприпасов с DU, а также вокруг них часто видна эта черная пыль. Большая часть пыли DU оседает в пределах 50–100 м от поражаемой цели. Некоторое количество пыли DU может перемещаться дальше по ветру. После осаждения на землю может иметь место ресуспендирование, если размер частиц, содержащих DU, достаточно мал. Уран в виде черной пыли, образовавшейся в результате удара боеприпасов с обедненным ураном о броню танков, плохо растворим в воде. Рентгеноструктурный анализ пыли, полученной в результате боевого применения боеприпасов с обедненным ураном, показал, что уран присутствует в виде 47 % U_3O_7 , 44 % U_3O_8 и 9 % UO_2 . Состав оксидов, скорее всего, непостоянен и будет меняться со временем по мере выветривания [9].

¹⁹ Шестьдесят два американских солдата во время Первой войны в Персидском заливе получили ранения осколками из DU, когда их танки Abrams или бронемшины Bradley были поражены дружественным огнем [29].

²⁰ Бар – метрическая единица давления, но не входит в Международную систему единиц измерения (СИ). Он определяется как точно равный 100 тыс. Па (100 кПа), или немного меньше, чем текущее среднее атмосферное давление на Земле на уровне моря (приблизительно 1,013 бар). По барометрической формуле 1 бар – это примерно атмосферное давление на Земле на высоте 111 м при температуре 15 °С.

²¹ Аэродинамический диаметр частицы аэрозоля – это диаметр частицы с плотностью, равной 1 г/см³, имеющей ту же конечную скорость оседания в воздухе при нормальных условиях, что и данная частица (MVP 2.6.1.60-2002).



Рисунок 6 – Уничтоженные пожаром снаряды M829A1 с пенетраторами из DU. Многие из снарядов перенесли пожар без взрыва или сгорания. На снимках показаны поврежденные огнем снаряды M829A1 DU, извлеченные из прицепов и морских контейнеров CONEX. Hills A. The Doha Disaster, «The Doha Dash». См. URL: <https://tanks-encyclopedia.com/the-doha-disaster-aka-the-doha-dash/> (дата обращения: 20.01.2023)

Составы мелких частиц, от 1 до 20 мкм, соответствовали малорастворимым UO_2 и U_3O_8 или их смеси²²; более крупные частицы указывали на присутствие водорастворимых соединений уранила. Частицы расплавленного урана диаметром от 200 до 500 мкм, содержащие железо, вероятнее всего, образовались при взаимодействии DU с пораженной целью [9]. Сообщалось также об обнаружении в участках поражения танковой брони частиц DU, содержащих металлический U, UC (монокарбид урана), Fe_2U , U_4O_9 , U_3O_7 , UO_2 и UO_3 [31]. Во внутренних объемах танка, пораженного таким снарядом, обнаружены мелкие частицы (0,5–2 мкм), состоящие из сплавов урана и алюминия (компонент пенетратора), и более крупные фрагменты DU (40–170 мкм), содержащие Al, Si, Fe, Zn, P, Cu и Ni [30]. Их токсичность для человека после вдыхания хорошо изучена [34].

Для получения экспериментальных данных о шансах экипажа танка Abrams избежать поражения аэрозолем DU, в Aberдинском испытательном центре (Aberdeen Test Center, США) были проведены стрельбы снарядами с пенетраторами из DU. Изучалась зависимость концентрации аэрозоля DU от времени на позициях заряжающего и механика-водителя после поперечного поражения невентилируемого танка M1A1 (Abrams) через башню. Установлено, что высококонцентрированный аэрозоль DU образуется мгновенно. Используя различные модели расчетов полученной дозы, специалисты Aberдинского испытательного центра пришли к выводу, что наибольшая часть дозы DU поступает выжившему экипажу в течение первой минуты после пробития брони танка [35]. Таким образом, у выжившего экипажа танка не остается времени, чтобы избежать поражения аэрозолем DU.

Измерения, проведенные внутри танка M1A1 после попадания одного пенетратора из DU 120 мм снаряда, соответствовали средним и максимальным попаданиям в организм человека (в течение 15 мин) 12 и 26 мг соответственно. Оценки, полученные в результате измерения концентрации урана в моче 14 солдат, находившихся внутри поврежденной бронетехники, но не раненных осколками, соответствуют вдыханию примерно 25 мг DU. Принимая во внимание различные неопределенности и возможность нескольких попаданий пенетратора, можно предположить, что военнослужащие внутри поврежденного танка могут вдохнуть не менее 50 мг аэрозоля DU или больше [26].

Пыль DU, образующаяся в результате сгорания пенетраторов в условиях пожара²³, имеет желтый цвет. Пожар в июле 1991 г. в Кувейте на складе боеприпасов уничтожил 660 шт. 120-мм подкалиберных снарядов M829A1 с пенетраторами из DU (рисунок 6).

В результате пожара большое количество сильно окисленного урана, такого как оксид урана (UO_3), распространилось по прилегающей местности в виде хрупких крупных желтых частиц. DU присутствовал в кристаллических фазах с продуктами относительно высокой растворимости и биодоступности (т.е. с шозэпитом, дегидратированным шозэпитом, меташозэпитом). Распределение частиц по размеру также было широким, от субмикронных до нескольких сотен микрометров. Средний размер урановых частиц, собранных на месте пожара хранилища снарядов с DU, составил 44 мкм [32, 33].

Радиологическая и химическая токсичность обедненного урана²⁴. Химическая и

²² Аналогичные окислы обогащенного ^{235}U попали в окружающую среду после аварии на Чернобыльской АЭС [15].

²³ Компактный уран загорается при температуре 700 °C [3].

²⁴ Очень основательно эта проблема рассмотрена в работе С.В. Гудкова с соавт. [15].

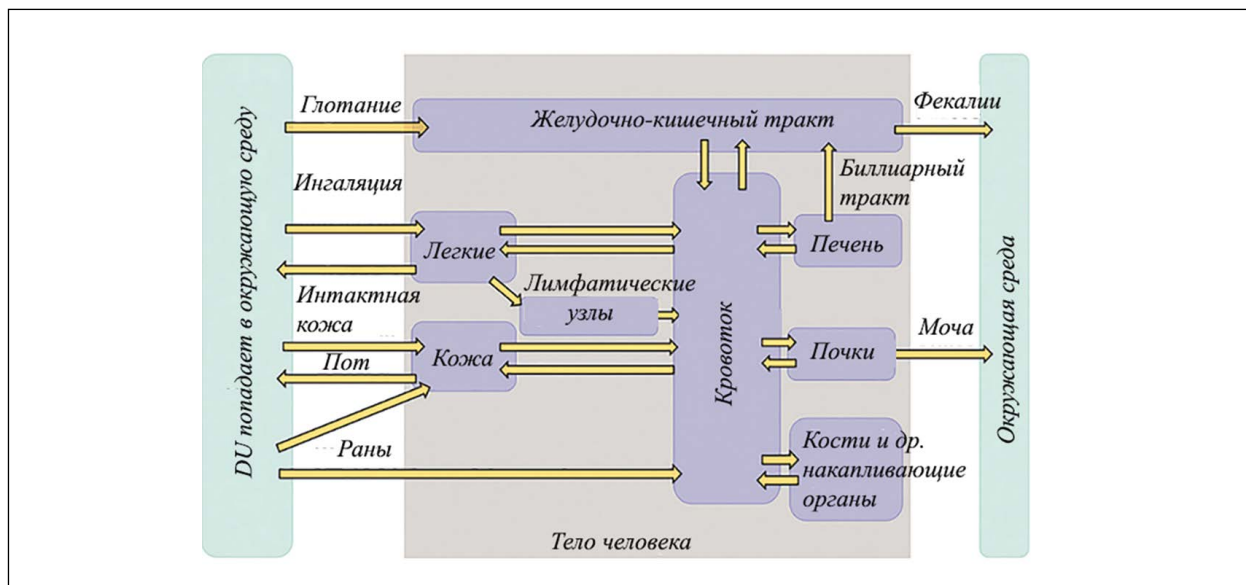


Рисунок 7 – Биокинетика DU в организме человека. Всасывание DU у человека в желудочно-кишечном тракте составляет примерно 2 % для растворимого урана и 0,2 % – для относительно малорастворимых четырехвалентных соединений, таких как UF_4 , UO_2 и U_3O_8 . Абсорбция DU через неповрежденную и поврежденную кожу составила примерно 0,4 и 38 % соответственно. Около 50 % DU выводится с мочой, 1–2 % DU выводится с калом, 25 % могут накапливаться в костях, а остальные 25 % – в мягких тканях. По Y.C. Yue [7]

радиологическая токсичности DU стали изучаться сравнительно недавно, уже после его применения в боевых действиях и в условиях политического давления, направленного на сокращение последствий для людей и окружающей среды. Поэтому их результаты нельзя считать исчерпывающими.

Основную часть внешнего облучения личный состав, попавший под действие противотанковых снарядов с пенетраторами из DU, получает либо от пыли окислов DU, либо мелких осколков металлического DU (размер около 0,1 мм) [43]. Основная часть внешней дозы от DU связана с гамма-излучением (с энергией 1 МэВ), которое образуется в 0,7 % распада ^{234m}Pa – продукта распада ^{238}U [26]. Контактная доза фрагментов DU составляет около 2 мЗв/ч, а для пыли ожидается гораздо меньшей. Солдаты в транспортных средствах, защищенных броней из DU, подвергались воздействию очень низких мощностей дозы в диапазоне 1 мкЗв/ч в течение более длительных периодов времени [1].

Внутреннее воздействие DU может происходить тремя путями: проглатывание воды и пищи, загрязненных DU; вдыхание аэрозолей DU; и через осколки в теле или зараженные раны. Вдыхание пыли DU является наиболее значимым путем воздействия в боевых ситуациях [4]. На рисунке 7 представлена биокинетика DU в организме человека.

Растворимость соединений DU влияет на его абсорбцию, а также на токсичность. Раз-

личие между радиотоксичностью DU и химической токсичностью четко не определено. Химическая токсичность DU сильно зависит от его химической природы в физиологических условиях и определяется, в основном, растворимыми производными DU, обладающими более быстрой абсорбцией, чем нерастворимые формы, абсорбция которых обычно занимает от месяцев до нескольких лет. Поэтому они играют основную роль в раннем воздействии на здоровье человека.

Радиотоксичность в большей степени обусловлена хроническим воздействием нерастворимых форм DU, откладывающихся в легких, местных лимфатических узлах и костях, сохраняющихся там в течение длительного времени [7, 15]. Почти 99 % внутренней дозы от DU придется на альфа-частицы с пробегом около 4 мкм (в металлическом уране). Канцерогенный эффект высокой плотности ионизации вдоль трека альфа-частицы, как считается, будет в двадцать раз выше, чем при энерговыделении гамма- и бета-лучами (в расчете на единицу выделенной энергии) [26].

Когда боеприпас с DU поражает цель, образуется облако частиц DU диаметром от 0,2 до 15 мкм, состоящих из различных оксидов и обладающих большой удельной поверхностью. При вдыхании более крупные из них задерживаются в ротоглотке и верхних дыхательных путях, часть их проглатывается; но основная масса (частицы диаметром менее 10 мкм) достигает нижних дыхательных путей,

где подвергается альвеолярной абсорбции. Альвеолярная абсорбция происходит в два этапа. Ранняя быстрая фаза, приводящая к пиковым уровням DU в плазме крови, а затем к их снижению с последующим длительным периодом стабильной абсорбции. Продолжительность фаз зависит от размеров частиц и растворимости их различных оксидных форм DU. Кроме того, защитная воспалительная реакция самой легочной ткани может привести через несколько суток к замедлению всасывания DU. Легочный период полувыведения DU составляет около 4 лет²⁵ [9, 11, 36].

Проникший из легких в кровь DU транспортируется кровью в виде комплексов с карбонатом или бикарбонатом, или с трансферрином, или с другими лигандами, и распределяется по всему организму с разной тропностью к отдельным органам и тканям. Особую тропность DU проявляет к костной ткани, так как легко замещает ионы Ca^{2+} , откладываясь в зонах обызвествления и быстро накапливаясь в эндостальной и периостальной областях метафизов бедренной кости, обызвествляющемся хряще и новообразованной костной ткани вдоль трабекулярной кости [41]. Дольше всего DU сохраняется в костях (5–25 лет), а около 1 %, по-видимому, остается там навсегда [15].

Растворимые формы DU быстро проникают в регионарные отделы головного мозга через спинномозговую жидкость. В то время как уровни DU в сыворотке крови возвращались к контрольным уровням к 30 сут, в головном мозге они оставались повышенными. Неблагоприятные неврологические последствия зависели от количества урана, проникшего в ЦНС [37].

При попадании пылевых частиц DU в носовые ходы, его накопление сначала происходит в обонятельной луковице и далее по аксональным волокнам он проникает в мозг, минуя гематоэнцефалический барьер. Экспериментально показано, что концентрация DU в головном мозге через одни сутки после окончания периода воздействия варьировала следующим образом: обонятельная луковица > гиппокамп > лобная кора > мозжечок, в дальнейшем быстро снижаясь. Спонтанная двигательная активность облученных крыс увеличилась через одни сутки после воздействия, а пространственная рабочая память была менее эффективной через 6 суток после воздействия по сравнению с контрольными крысами [38].

Независимо от того, происходит ли воздействие через вдыхание или прием внутрь, почки становятся основным органом-мишенью для

проявления DU своей химической токсичности. Карбонатные комплексы фильтруются в клубочках почек. Эти комплексы диссоциируют по мере того, как фильтрат клубочков проходит по проксимальным канальцам и становится более кислым. Высвобожденный из комплекса ион уранила может реагировать с компонентами фильтрата или с компонентами трубчатой мембраны. Первые могут оставаться растворенными в фильтрате, а вторые могут связываться с ионными участками мембраны щеточной каймы проксимальных канальцев. Растворимые формы урана попадают в мочевой пузырь и выводятся из него, но связанные формы могут изменять или разрушать клетки почечных канальцев. В зависимости от дозы почки могут восстановиться спонтанно или с помощью диализа [11, 39]. Заметная гибель клеток происходит у среднего взрослого мужчины при весовой концентрации урана в почках около 1 мг [26].

Токсические механизмы DU на клеточном, субклеточном и белковом уровнях проявляют себя: окислительным стрессом; повреждением ДНК; аномальной функцией белков; активацией воспалительных процессов; апоптозом и аутофагией²⁶.

Последствия для людей. Исследования на животных показывают, что DU может оказывать негативное влияние на мозг, почки и кости взрослых животных. Эти данные также свидетельствуют о том, что существует высокий риск поражения ЦНС, других органов и тканей, и радиационно-индуцированного рака [11]. К настоящему времени достоверно установлено, что на территориях, где применялись снаряды с DU, наблюдаются массовые заболевания «неясной этиологии» среди военнослужащих и мирного населения. Для этих заболеваний характерны отдаленные эффекты в виде комплекса симптомов: расстройства памяти, бессонницы, угнетенного состояния, головокружений, головной боли, мышечной слабости, болей в суставах, воспаления кожных покровов, нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы, органов дыхания и других внутренних органов, аллергические реакции, импотенция. К числу наиболее неблагоприятных отдаленных последствий относятся активация канцерогенеза и повышение частоты новообразований. После войны на Балканах сообщалось также о многочисленных случаях острой лейкемии среди военнослужащих, наряду с повышенной частотой других опухолевых заболеваний, которые связывали с

²⁵ DU в виде субмикронных частиц из-за их большой удельной поверхности обладает более богатым механизмом токсичности, чем его растворимые формы [2].

²⁶ Более подробно см. в работах [2, 7, 15, 40].

использованием таких снарядов. Эти заболевания наблюдаются только в Боснии и Косово, где использовались снаряды с обедненным ураном. В расположенной рядом Хорватии, где такие снаряды не применялись, такие последствия отсутствовали [15].

Существуют разные подходы к оценке дозы облучения, полученной от диспергированного DU, но они наталкиваются на трудно учитываемые в расчетах факторы (нелогарифмически нормальное распределение частиц DU по размерам, быстро меняющиеся во времени его концентрации и размеры частиц, разная растворимость и др.)²⁷. Поэтому в настоящее время их невозможно использовать на этапах медицинской эвакуации. По мнению S. Fetter [26], единственным способом оценить величины соответствующих доз облучения военнослужащего может быть анализ содержания урана в его моче.

Судьба обедненного урана в почве. На территориях, где применялись снаряды с DU, он обычно обнаруживается в верхних 5 см почвы в виде пыли из урановых оксидов и фрагментов DU. Если танк был поражен двумя пенетраторами 120 мм снаряда, то в близлежащей зоне площадью 100 м² может находиться 10 кг осколков DU [26]. В нескольких мг почвы могут быть обнаружены сотни тысяч частиц размерами от 0,8 до 7,5 мкм [42]. Концентрация DU снижалась до фоновых концентраций менее чем через 20 см на глубину отбора пробы. В пределах глубины 0–2 см ниже корродированного пенетратора концентрация DU составила 5027 мг/кг. В верхних 5 см почвы под обнаженным пенетратором из DU в среднем его обнаруживали в количестве 3416 мг/кг U²⁸. Наличие более высокой концентрации DU в верхнем профиле указывает на большее количество DU в форме частиц, образовавшихся при ударе пенетратора о броню. В местах, подверженных большому объему водного стока, концентрация урана значительно снижалась после 20 м от источника из-за высокого поверхностного стока. Уран также переносился по всей экосистеме за счет поглощения растениями и потребления дикими животными между трофическими уровнями, но с ограниченным накоплением в частях растений и животных [14].

Независимо от условий выброса частиц урана (образовавшиеся при ударе пенетратора о броню слабо окисленные соединения, например, UO₂; или образовавшиеся в результате пожара сильно окисленные соединения, такие

как шозепит и его производные), большая их часть биодоступна [32]

Неповрежденные урановые пенетраторы 30-мм снарядов с алюминиевыми башмаками были обнаружены в подземных грунтах в местах боевых действий. Глубина, на которой пенетратор может застрять в почве, зависит от угла удара и ее физических свойств [17].

DU термодинамически нестабилен и поэтому корродирует в естественных экосистемах. DU пенетраторов, легированный титаном, более устойчив к коррозии, чем природный U, сплавы DU-Ti подвергаются точечной коррозии, затрагивающей локальные участки на их поверхности. Образующиеся продукты коррозии зависят от содержания воды, при этом продукты коррозии в виде твердых частиц и коллоидного обедненного урана (обычно меташозепит, уранинит или аналогичные фазы) преобладают в средах с более низкой влажностью [17]. С течением времени из-за окисления урана в такой почве образуются относительно хорошо растворимые соединения, такие как шозепит, дегидратированный схозепит, метасхозепит и менее окисленные формы урана – уранинит, студтит и беккерелит. Растворимость шозепит при pH, близком к нейтральному, примерно на 5 порядков выше, чем растворимость UO₂ [31]. Растворимые соединения DU переносятся к поверхности почвы за счет капиллярного действия, вызванного испарением воды [14]. Сводка характеристик частиц DU, собранных с загрязненных территорий 5–30 лет назад, приведена в таблице 3.

Время полной коррозии пенетратора из DU оценивается от 2,5 до 48 лет – в зависимости от конкретной физической и геохимической среды [41]. По другим, также приблизительным подсчетам, пенетраторы полностью проржавеют в течение 20 лет, постепенно выделяя в подземные источники воды растворимые соединения урана [17].

Однако в бескислородных условиях происходит пассивация²⁹ DU, что предотвращает дальнейшую коррозию. Таким образом, DU, отложившийся в бескислородных системах во время конфликта и испытательных стрельб, является наследием для будущих поколений [17].

Для установления факта применения пенетраторов из DU важен изотопный состав DU, обнаруженного в поверхностном слое почвы. По данным масс-спектрометрии (Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS) и альфа-магнитной спектрометрии (Alpha

²⁷ См. работы [20, 26, 30, 35].

²⁸ В почвах по всему миру U в естественных условиях содержится в среднем на уровне 2–3 мг/кг почвы [14].

²⁹ Пассивация металлов – переход поверхности металла в неактивное, пассивное состояние, связанное с образованием тонких поверхностных слоев соединений, препятствующих коррозии.

Таблица 3 – Характеристика частиц DU, собранных с загрязненных территорий*

Источник	Сценарий высвобождения/процесс трансформации	Территория	Кристаллографическая структура
Удар пентратора о броню танка	Столкновение с твердой целью с последующим выветриванием (~ 5 лет)	Косово	UO ₂ , UO _{2,34} , UC, металлический U
	Удар по твердой цели с последующим выветриванием (~10 лет) в засушливой среде	Кувейт	UO ₂ , UC, Fe ₂ U
	Удар по твердой цели с последующим выветриванием (30 лет)**	Эскмил, Великобритания	U ₃ O ₇ , U ₃ O ₈
	Удар по твердой цели с последующим выветриванием (30 лет) в почве, богатой органикой**	Эскмил, Великобритания	U ₃ O ₇ , K(UO ₂) ₂ (PO ₄)×3H ₂ O
Сгоревшие боеприпасы с DU	Взрывы боеприпасов и пожар с последующим выветриванием (~ 10 лет) в засушливой среде	Кувейт	UO ₃ ×2.25H ₂ O, UO ₃ ×2.0H ₂ O, UO ₃ ×0.8H ₂ O
Корродированные пентраторы	Кинетический пентратор не попал в цель и неповрежден, выветривание (~ 7 лет)	Босния, Кувейт	UO ₃ (H ₂ O) ₂ , (UO ₂) ₂ O, O ₂ (H ₂ O) ₂ ×2(H ₂ O)
Промышленные выбросы	Сжигание лома металлического обедненного урана, выветривание (~25 лет)	Колони, шт. Нью-Йорк	UO _{2+x}

* По обобщающей работе O.C. Lind с соавт. [31].
** Обратите внимание на длительность процесса трансформации.

Magnetic Spectrometer, AMS), атомные отношения $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ для частиц DU постоянны, приблизительно равны 0,002. Напротив, относительные концентрации ^{236}U в частицах DU варьировали в зависимости от места отбора проб и были на 5–6 порядков выше, чем в природном уране. Наличие повышенных концентраций ^{236}U может быть связано только с использованием DU, рециклированного из отработавшего топлива, или связано с обращением с DU на оборудовании, ранее загрязненном в ходе операций по рециркуляции на обогатительных фабриках, что должно исключить любые сомнения относительно его происхождения – применение боеприпасов с DU [31].

Обсуждение результатов. Кинетические снаряды на основе DU – весьма эффективное, но не единственное средство поражения бронированной техники. Опыт четырех войн, в которых их применяли, свидетельствует, что когда применяются именно такие снаряды, то, кроме военных, преследуются еще и другие цели, например, создание долговременных последствий на территории противника. Разумеется, это не афишируется, но политика создания условий невозможности существования, ведущей к депопуляции, последовательно, сто-

летиями, проводится англосаксонским миром в отношении народов, считающихся ими враждебными³⁰. Снаряды на основе DU не запрещены международными соглашениями и напрасно надеяться на то, что можно предотвратить их применение против российской армии дипломатическим путем. Нужны более весомые аргументы.

В арсенале НАТО имеются боеприпасы с DU 20-, 25-, 30-, 110-, 120- и 140-мм различного калибра и назначения. И пока наше внимание занято британскими 120-мм противотанковыми снарядами, не исключено, что применялись и применяются другие калибры с DU. Поэтому необходимо осуществлять радиационный мониторинг DU в местах интенсивных боев с подбитой российской бронетехникой.

В исследованной научной литературе обращают на себя внимание статьи, авторы которых пытаются всячески преуменьшить опасность DU. В опубликованной в 1999 г. работе S. Fetter, F. von Hippel [26] путем сложных математических расчетов проводится мысль, что радиация, создаваемая боеприпасами с DU, не представляет серьезной опасности для военнослужащих и местного населения; «что опасения о здоровье людей и о влиянии DU на окружающую среду слишком раздуты». Однако данные, получаемые

³⁰ Например, когда готовилась атомная бомбардировка Хиросимы, американские ученые-атомщики предлагали правительству либо пригласить японских представителей на демонстрационный взрыв атомной бомбы в пустынной местности, либо за некоторое время до сброса бомбы предупредить японское руководство, что им нужно эвакуировать людей из города. И в том, и в другом случае можно было бы убедительно показать мощь нового оружия и избежать массовой гибели людей. Уже после атомного взрыва эти же ученые пытались доказать руководству необходимость сбросить с самолетов брошюры, сообщающие о радиоактивном заражении территорий, над которыми произошли атомные взрывы. Но и это не было сделано [21].

в экспериментах и путем мониторинга состояния здоровья населения на территориях, где велись боевые действия с применением таких боеприпасов, говорят об обратном. Да и сами авторы все же приходят к выводу о реальности радиационной опасности, и рекомендуют входить в технику, пораженную такими пенетраторами, в защитной одежде и масках; загрязненные DU транспортные средства заливать бетоном и захоранивать. То же самое они рекомендуют делать в отношении обломков пенетраторов, рассматривая их как радиоактивные отходы с низким уровнем активности.

На поле боя, там, где имеется подбитая российская техника, необходимо обращать внимание на наличие черной мелкой пыли (внутри боевой машины, на ее наружной поверхности и в непосредственной близости) – это важный признак возможного применения снарядов с DU, а сама пыль представляет собой радиоактивные оксиды урана. При осмотре уничтоженных складов боеприпасов противника, кроме выявления фрагментов снарядов характерной формы, целесообразно обращать внимание на хрупкие крупные желтые частицы, они могут оказаться UO_3 . При пожарах из-за других условий окисления образуется рассыпающаяся пыль желтого цвета. При ее исследо-

вании пыли необходимо обратить внимание на наличие повышенных концентраций ^{236}U . Факт поражения DU военнослужащего можно установить по наличию урана в его моче.

Выводы

Утверждения, что DU безопасен, малорадиоактивен, а его токсичность – это токсичность тяжелого металла, вроде свинца, являются дезинформацией. DU и радиоактивен, и мутагенен; его токсичность весьма сложно опосредована с радиоактивностью, меняющимися во времени концентрациями и размерами частиц и другими факторами. Продолжительность сохранения DU в почве и экосистемах исчисляется десятилетиями, причем все это время, если не принять соответствующие меры по дезактивации, он будет проникать в водисточники, сельскохозяйственные растения, продукты животного происхождения, а через них – в популяцию людей, снижая их продолжительность жизни и фертильность. Применение снарядов DU на территории Российской Федерации по своим последствиям для людей и природы – это применение радиологического оружия, т.е. замаскированная форма ведения ядерной войны. И к ней необходимо относиться соответствующим образом.

Вклад авторов / Authors Contribution:

Разработка концепции статьи; сбор, анализ и систематизация научной литературы; написание статьи / Elaboration of the concept of the paper; collection, analysis, and systematization of scientific literature; writing and edition of paper.

Информация о конфликте интересов

Автор заявляет, что исследования проводились при отсутствии любых коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов.

Сведения о рецензировании

Статья прошла открытое рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе.

Финансирование. Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр» Министерства обороны Российской Федерации.

Список источников/References

1. Bleise A., Danesi P., Burkart W. Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): a general overview // J. Environ. Radioact. 2003. V. 64. P. 93–112. [https://doi.org/10.1016/s0265-931x\(02\)00041-3](https://doi.org/10.1016/s0265-931x(02)00041-3)
2. Zhang L., Chu J., Xia B. et al. Health effects of particulate uranium exposure // Toxics. 2022. V. 10. № 10. P. 575. <https://doi.org/10.3390/toxics10100575>
3. Бекман И.Н. Уран. М. 2009. 300 с. Bekman I.N. Uranus. Moscow. 2009 (in Russian).
4. Shaki F., Zamani E., Arjmand A., Pourahmad J. A Review on toxicodynamics of depleted uranium // Iran. J. Pharm. Res. 2019. V. 18 (Suppl1). P. 90–100. <https://doi.org/10.22037/ijpr.2020.113045.14085>
5. Fairlie I. Depleted uranium: properties, military use and health risks // Med. Confl. Surviv. 2009. V. 25. № 1. P. 41–64. <https://doi.org/10.1080/13623690802568962>
6. Bem H., Bou-Rabee F. Environmental and health consequences of depleted uranium use in the 1991 Gulf

- War // *Environ. Int.* 2004. V. 30. № 1. P. 23–34. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00151-X](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00151-X)
7. Yue Y.C., Li M.H., Wang H.B. et al. The toxicological mechanisms and detoxification of depleted uranium exposure // *Environ Health Prev. Med.* 2018. V. 23. № 18. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0706-3>
 8. Kazery J.A., Proctor G., Larson S.L. et al. Distribution and fractionation of uranium in weapon tested range soils // *ACS Earth Space Chem.* 2021. V. 5. № 2. P. 356–364. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.0c00326>
 9. Katz S.A. The chemistry and toxicology of depleted uranium // *Toxics.* 2014. V. 2. P. 50–78. <https://doi.org/10.3390/toxics2010050>
 10. Bjorklund G., Semenova Y., Pivina L. et al. Uranium in drinking water: a public health threat // *Arch. Toxicol.* 2020. V. 94. № 5. P. 1551–1560. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02676-8>
 11. Briner W. The toxicity of depleted uranium // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2010. V. 7. № 1. P. 303–313. <https://doi.org/10.3390/ijerph7010303>
 12. Fahey D. Science or science fiction? Facts, myths and propaganda in the debate over depleted uranium weapons. Berkeley, California, 2003.
 13. Kathren R.L., Burklin R.K. Acute chemical toxicity of uranium // *Health Phys.* 2008. V. 94. № 2. P. 170–179. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000288043.94908.1f>
 14. Dasari S., Guo F., Nie J. et al. Horizontal and vertical transport of uranium in an arid weapon-tested ecosystem // *ACS Earth Space Chem.* 2022. V. 6. № 5. P. 1321–1330. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.2c00028>
 15. Гудков С.В., Черников А.В., Брусков В.И. Химическая и радиационная токсичность соединений урана // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2014. Т. LVIII, № 3, 4. С. 73–82.
Gudkov S.V., Chernikov A.V., Bruskov V.I. Chemical and radiation toxicity of uranium compounds // *Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva)*. 2014. V. LVIII, № 3, 4. P. 73–82 (in Russian).
 16. Betti M. Civil use of depleted uranium // *J. Environ. Radioact.* 2003. V. 64. № 2–3. P. 113–119. [https://doi.org/10.1016/s0265-931x\(02\)00042-5](https://doi.org/10.1016/s0265-931x(02)00042-5)
 17. Handley-Sidhu S., Keith-Roach M.J., Lloyd J.R., Vaughan D.J. A review of the environmental corrosion, fate and bioavailability of munitions grade depleted uranium // *Sci. Total. Environ.* 2010. № 1. P. 5690–5700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.028>
 18. Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф. и др. Боеприпасы / Под ред. Селиванова В.А. Т. 1. М. 2016.
Babkin A.V., Veldanov V.A., Grjaznov E.F. et al. Ammunition / Ed. Selivanov V.A. Vol. 1. Moscow. 2016 (in Russian).
 19. Trueman E.R., Black S., Read D. Characterisation of depleted uranium (DU) from an unfired CHARM-3 penetrator // *Sci. Total. Environ.* 2004. V. 327. № 1–3. P. 337–340. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00401-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00401-7)
 20. Li W.B., Gerstmann U.C., Höllriegl V. et al. Radiation dose assessment of exposure to depleted uranium // *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2009. V. 19. № 5. P. 502–514. <https://doi.org/10.1038/jes.2008.40>
 21. Jungk R. Brighter than a thousand suns: a personal history of the atomic scientists. N.Y. 1956.
 22. Ненахов Ю.Ю. Чудо-оружие Третьего рейха. Минск. 1999.
Nenahov Ju.Ju. Miracle weapon of the Third Reich. Minsk. 1999 (in Russian).
 23. Хазанов А.М. Португалия и ее империя в эпоху Салазара и Каэтану. М. 2014.
Hazanov A.M. Portugal and its empire in the era of Salazar and Caetano. Moscow. 2014 (in Russian).
 24. Peacock H.B. Pyrophoricity of uranium (U). Westinghcase Savannah River Company. 1992.
 25. Dodd B., Coghe F. Damage caused to metals by kinetic and chemical energy projectiles // *ResearchGate*. 2015. 16 June. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1667.0881>
 26. Fetter S., von Hippel F. The hazard posed by depleted uranium munitions // *Science and Global Security*. 1999. V. 8. № 2. P. 125–161.
 27. Papastefanou C. Depleted uranium in military conflicts and the impact on the environment // *Health Phys.* 2002. V. 83. № 2. P. 280–282. <https://doi.org/10.1097/00004032-200208000-00013>
 28. Medina V.F., Waisner S. Methods to reduce sand ejecta from projectile impact – a scaled study with the goal of application to depleted uranium penetrator catch boxes. Army Range Technology Program ERDC/EL TR-12-10. U.S. Army Corps of Engineers Washington. 2012.
 29. McClain D.E., Benson K.A., Dalton T.K. et al. Biological effects of embedded depleted uranium (DU): summary of armed forces radiobiology research institute research // *Sci. Total. Environ.* 2001. V. 274. № 1–3. P. 115–118. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(01\)00734-3](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(01)00734-3)
 30. Chazel V., Gerasimo P., Dabouis V. et al. Characterisation and dissolution of depleted uranium aerosols produced during impacts of kinetic energy penetrators against a tank // *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2003. V. 105. № 1–4. P. 163–166. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006214>
 31. Lind O.C., Tschiersch J., Salbu B. Nanometer-micrometer sized depleted uranium (DU) particles in the environment // *J. Environ. Radioact.* 2020. 106077. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106077>
 32. Lind O.C., Salbu B., Skipperud L. et al. Solid state speciation and potential bioavailability of depleted uranium particles from Kosovo and Kuwait // *J. Environ. Radioact.* 2009. V. 100. P. 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.12.018>

33. Lind O.C., Oughton D., Salbu B. The NMBU FIGARO low dose irradiation facility // *Int. J. Radiat. Biol.* 2019. V. 95. P. 76–81. <https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1516906>
34. Nemery B. Metal toxicity and the respiratory tract // *Eur. Respir. J.* 1990. V. 3. № 2. P. 202–219.
35. Guilmette R.A., Parkhurst M.A. Dose assessment for inhalation intakes in complex, energetic environments: experience from the US Capstone study // *Radiation Protection Dosimetry.* 2007. V. 127, Is. 1–4. P. 516–520. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncm359>
36. Durakovic A., Horan P., Dietz L.A., Zimmerman I. Estimate of the time zero lung burden of depleted uranium in Persian Gulf War veterans by the 24-hour urinary excretion and exponential decay analysis // *Mil. Med.* 2003. V. 168. P. 600–605.
37. Barber D.S., Hancock S.K., McNally A.M. et al. Neurological effects of acute uranium exposure with and without stress // *Neurotoxicology.* 2007. V. 28. P. 1110–1119. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2007.05.014>
38. Monleau M., Bussy C., Lestaavel P. et al. Bioaccumulation and behavioral effects of depleted uranium in rats exposed to repeated inhalations // *Neurosci. Lett.* 2005. V. 390. P. 31–36.
39. Roszell L.E., Hahn F.F., Lee R.B., Parkhurst M.A. Assessing the renal toxicity of capstone depleted uranium oxides and other uranium compounds // *Health Phys.* 2009. V. 96. P. 343–351. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000338421.07312.ed>
40. Ma M., Wang R., Xu L. et al. Emerging health risks and underlying toxicological mechanisms of uranium contamination: Lessons from the past two decades // *Environ. Int.* 2020. V. 145. 106107. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106107>
41. Bourgeois D., Burtpichat B., Goff X.L. et al. Micro-distribution of uranium in bone after contamination: new insight into its mechanism of accumulation into bone tissue // *Anal. Bioanal. Chem.* 2015. V. 407. № 22. P. 6619–6625. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-8835-7>
41. Toque C., Milodowski A.E., Baker A.C. The corrosion of depleted uranium in terrestrial and marine environments // *J. Environ. Radioact.* 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.01.001>
42. Danesi P.R., Markowicz A., Chinea-Cano E. et al. Depleted uranium particles in selected Kosovo samples // *J. Environ. Radioact.* 2003. V. 64. P. 143–154. [https://doi.org/10.1016/s0265-931x\(02\)00045-0](https://doi.org/10.1016/s0265-931x(02)00045-0)
43. Fischer H. Depleted uranium: sources, exposure and health effects // *World Health Organ.* 2001. V. 4. P. 324–325.

Об авторе

Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр» Министерства обороны Российской Федерации. Российская Федерация, 111024, г. Москва, проезд Энтузиастов, д. 19.

Супотницкий Михаил Васильевич. Главный специалист, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. <https://orcid.org/0009-0004-3193-1032>

Контактная информация автора: 27nc_1@mil.ru

Armor Piercing Projectiles Based on Depleted Uranium and the Consequences of Their Use for the Environment and People

M.V. Supotnitskiy

Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Entuziastov Passage, 19, Moscow 111024, Russian Federation
e-mail: 27nc_1@mil.ru

Received February 22, 2023. Accepted March 27, 2023

The intention of the collective West to supply the armed forces of Ukraine with armor-piercing shells with cores (penetrators) made of depleted uranium (DU), is changing the situation in the zone of special military operation (SVO). A new damaging factor is introduced into combat operations – uranium-238 (²³⁸U), one of the longest-lived natural radioactive isotopes of uranium. *The purpose of the review* is to identify the signs and consequences of the use of armor-piercing projectiles based on depleted uranium. *Materials and research methods.* The sources available through the PubMed, Google Scholar and Russian Electronic Library databases were analyzed. *Research results.* NATO uses DU in 20-, 25-, 30-, 105-, 120- and 140-mm caliber projectiles. The cores are made from recycled DU, which is a waste from the production of nuclear weapons. Due to man-made isotopes, it is more radioactive than DU from natural uranium. When such a projectile hits an armored object, a large amount of respirable radioactive and toxic dust of black uranium

oxides, small fragments and fragments of the penetrator, remaining in the armored vehicles and around it, is formed. One 120 mm projectile produces approximately 950 g of black dust. Almost 99% of the internal dose received by the military will come from alpha particles, the most dangerous to health. Projectiles that miss their targets sink deep into the soil, their penetrators corrode for decades, releasing soluble uranium compounds into underground water sources. In areas where DU shells were used, mass diseases of «unexplained etiology» are observed among military personnel and civilians, reducing their life expectancy and fertility. *Discussion of results and conclusions.* The first signs of the use of shells with DU, which can be installed on the battlefield: round holes in the armor of tanks and the presence of solid black dust around them and in the tank itself. In case of fires in the warehouses of such shells, due to other oxidation conditions, crumbling yellow dust is formed. When examining it, it is necessary to pay attention to the presence of elevated concentrations of ^{236}U . The fact that a soldier was hit by DU can be confirmed by the presence of uranium in his urine. The use of DU shells on the territory of the Russian Federation, in terms of its consequences for people and nature, is the use of radiological weapons, a disguised form of nuclear warfare. And it must be treated accordingly.

Keywords: carcinogenic; chemotoxicity; corrosion of depleted uranium; depleted uranium aerosols; depleted uranium munitions; depleted uranium; endocrine disruptor; Gulf war; munitions; particulate uranium; pyrophoricity; U-234; U-235; U-238; uranium contamination.

For citation: Supotnitskiy M.V. *Armor Piercing Projectiles Based on Depleted Uranium and the Consequences of Their Use for the Environment and People*// *Journal of NBC Protection Corps*. 2023. V. 7. № 1. P. 6–23. EDN: rhsvza. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-1-6-23>

Conflict of interest statement

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationship that could be construed as a potential conflict of interest.

Peer review information

The article has been peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

Funding. Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation.

References

See P. 20–22.

Author

Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Entuziastov Passage, 19, Moscow 111024, Russian Federation.

Mikhail Vasilyevich Supotnitskiy. Senior Researcher. Chief Specialist. Candidate of Biological Sciences. <https://orcid.org/0009-0004-3193-1032>

Contact information for author: 27nc_l@mil.ru