

**Андрианов Сергей Викторович**,  
аспирант, Академия Военных Наук, Москва  
Andrianov Sergei Viktorovich, Academy of Military Sciences

**Селезнева Елена Викторовна**,  
к.п.н., доцент, и.о.зав.каф., СибАДИ, Омск  
Selezneva Elena Viktorovna, SibADI

**Соловьев Анатолий Алексеевич**,  
к.ф.-м.н., профессор, СибАДИ, Омск  
Soloviev Anatoliy Alekseevich, SibADI

**Филимонова Ольга Алексеевна**,  
старший преподаватель, СибАДИ, Омск  
Filimonova Olga Alekseevna, SibADI

## **АЭРОЗОЛЬНАЯ ТОКСИЧНОСТЬ СНАРЯДОВ С ОБЕДНЕННЫМ УРАНОМ AEROSOL TOXICITY OF DEPLETED URANIUM SHELLS**

**Аннотация:** Рассмотрены пирофорные свойства обедненного урана его использование в различных снарядах и аэрозольная токсичность. Показаны негативные последствия для здоровья населения в регионах боевых действий.

**Abstract:** The article deals with pyrophoric properties of depleted uranium, its use in various projectiles and aerosol toxicity. The authors show the negative consequences for public health in the regions of military operations.

**Ключевые слова:** Обедненный уран, радиация, токсичность аэрозолей, заражение местности, влияние на здоровье, геноцид мирного населения.

**Keywords:** Depleted uranium, radiation, toxicity of aerosols, contamination of terrain, health effects, genocide of civilians.

Уран входит в достаточной концентрации в 150 различных минералов, и в небольшом количестве – еще в 50. Его содержание в гранитах – от 10-4 до 4,75 %, в ортитах – 0,05 %, в моноцитах – 0,1 %, в самаркитах – около 10 % и в уранитах – до 70 %. В основном уран выделяют из урановой смолки.

Соли урана – сильные яды. По пищевым цепям уран переходит в организм человека. Оценка поступления урана с пищей в организм человека, показала колебания в пределах (0,74-4,44)·10<sup>-2</sup> Бк/сут, при выделении с мочой – (1,1-4,8)·10<sup>-3</sup> Бк/сут. Это приводило к средней активности в скелете от 0,14 до 0,18 Бк/кг, а в мягких тканях – (0,1-1,1)·10<sup>-2</sup> Бк/кг. Соединения урана всасываются в желудочно-кишечном тракте – около 1 %, в легких – 50 %. Основные депо в организме: селезенка, почки, скелет, печень, лёгкие и бронхо-лёгочные лимфатические узлы. Содержание урана в органах и тканях человека и животных не превышает 10–7 г. Порошки урана с размером частиц менее 5 мкм пирофорны и требуют специальных мер предосторожности.

Урановые порошки подразделяют на гидридные (полученные разложением гидрида урана) и металлотермические (полученные в результате металлотермического восстановления оксидов урана). Из гидрида урана получается очень мелкий угловатой формы порошок благодаря большому различию в плотности между U и UH<sub>3</sub>. Разложение гидрида урана позволяет получить порошок крупностью менее 5 мкм.

Урановые соединения применяются в стекольной промышленности, для окраски стёкол в красный или зелёный цвет, или придания им красивого зеленовато-жёлтого оттенка. Помимо зелёного бутылочного стекла промышленность стала выпускать плитки из уранового



стекла для отделки кухонь и ванных комнат. Уранаты типа  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$  («жёлтый уранил») нашли применение в качестве пигментов для керамических глазурей и эмалей. Уранилацетат  $\text{UO}_2(\text{H}_3\text{COOH})_2$  используется в аналитической химии. Фосфорные удобрения содержат довольно большие количества урана. Уран используется при изготовлении самолетных противовесов и противорадиационных экранов в медицинской радиотерапевтической аппаратуре. До 1980-ых, естественный уран широко применяли дантисты, включая его в состав зубной керамики. Уран также используется в нитях ламп накаливания, и в кожевенной и деревообрабатывающей промышленности в составе красителей. Соли урана применяют в растворах протравы и морения шерсти и кожи. Обеднённый уран используется для радиационной защиты и как балластная масса в аэрокосмических применениях, таких как рулевые поверхности летательных аппаратов. В каждом самолёте «Боинг-747» содержится 1500 кг обеднённого урана для этих целей. Также обедненный уран применяется в высокоскоростных роторах гироскопов, больших маховиках, как балласт в гоночных яхтах, при бурении нефтяных скважин. Кроме того, популярность его применения пришла за счет его весьма высокой плотности ( $19,1 \text{ г/см}^3$ ) и большого сечения захвата нейтронов. Поэтому уран стали использовать в медицине как защиту при лучевой терапии (кобальтовая пушка), составную часть стоматологического фарфора для придания блеска, в атомной промышленности и радиографии для защиты от излучения радиоактивных материалов. До конца двадцатого века обедненный уран добавляли в краски по стеклу и фарфору. Поскольку фарфор не содержит уран в лабораториях все химические шпатели, фарфоровые кружки и стаканы, ступки и песты изготавливаются из обычного фарфора без добавления красителей.

Для атомных реакторов ранних версий требовались стержни из обедненного урана в качестве топлива. В реакторах второго поколения, построенных в начале 1960-х годов, обедненный уран уже не использовался в качестве топлива, и он стал доступен для альтернативной эксплуатации в других областях техники и технологиях.

Поскольку в результате обогащения природного урана было накоплено большое количество относительно недорогого обедненного урана, это стало одной из причин его использования для производства боеприпасов. Этот побочный продукт производства ядерного топлива тяжелее и плотнее вольфрама. Сейчас бронебойные боеприпасы с обедненным ураном являются одним из основных боеприпасов для противотанковых пушек в различных армиях мира. Производство таких боеприпасов налажено во Франции, Китае, Пакистане, России, Великобритании и США. Например, снаряды с обедненным ураном в России используются в основном боекомплекте танков с конца 1970-х годов, в основном в 115-миллиметровых пушках танка Т-62 и 125-миллиметровых пушках Т-64, Т-72, Т-80 и Т-90.

Еще в 1977 году Лабораторией вооружения США были проведены на Абердинском полигоне стрельбы 105-мм снарядами, содержащими сердечник из обедненного урана с 0,75% титана. Целью экспериментальных исследований было установление характера разрушения сердечника и обобщение результатов для последующего анализа влияния применения боеприпасов из обедненного урана на окружающую среду. В процессе испытаний [1] установлено, что при взаимодействии сердечника с броней происходит его разрушение с образованием большого количества взвешенных в воздухе частиц. Размер частиц варьируется в значительном диапазоне: от макрочастиц диаметром более 50 мкм до аэрозолей субмикронного уровня. Большая часть частиц имеет сферическую или эллипсоидальную форму, свидетельствующую о воздействии высокой температуры. Осколки, образующиеся при соударении с броней, самовоспламенялись, их горение в воздухе носило экзотермический и самоподдерживающийся характер.

Образование большого количества взвешенных частиц при взаимодействии уранового сердечника с броней [1] поставило задачу по оценке влияния их на организм человека при попадании таких частиц в легкие. Было установлено, что наиболее важным фактором является не радиоактивное воздействие, а химическое воздействие урана, его окислов и других продуктов, образующихся при соударении с броней. Особенно опасны аэрозоли урана и его соединений. Обычно считается, что радиация обедненного урана никакой опасности для



живых организмов не представляет. Во-первых, он является источником только альфа-излучения, а пробег альфа-частиц в плотных средах не превышает десятка микрон. Во-вторых, его радиоактивность исчезающе мала, о чем свидетельствует огромное численное значение периода полураспада атомов изотопа  $^{238}\text{U}$ .

Однако низкая радиоактивность и отсутствие гамма-излучения ещё не повод считать вещество безопасным. Высокая аэрозольная и химическая токсичность в естественных условиях может оказаться в миллионы раз более опасной, чем его радиоактивность. Крис Басби, сотрудник Института питания растений и наук о почве, предложил весьма оригинальную модель возможного влияния обедненного урана на человеческий организм, согласно которой попадающие в организм человека атомы урана становятся своеобразными антеннами-излучателями. Они поглощают фотоны фонового гамма-излучения и затем переизлучают полученную энергию в виде быстрых электронов, то есть интенсивного бета излучения. Механизм переизлучения связан, по всей видимости, с фотоэлектрическим эффектом. Именно за счет фотоэффекта атомы захватывают гамма-кванты с энергией до 100 КэВ; в атоме фотон передает свою энергию электрону, электрон освобождается и попадает в окружающую среду. Проведенные расчеты показывают, что для здоровья человека такого рода фантомные фотоэлектроны существенно опаснее химической токсичности урановых частиц, и что активность урана как источника фотоэлектронов может в 1500 раз превышать его активность как источника альфа-частиц.

При попадании в организм уран действует на все органы, являясь общеклеточным ядом. Уран практически необратимо, как и многие другие тяжёлые металлы, связывается с белками, прежде всего, с сульфидными группами аминокислот, нарушая их функцию. В первую очередь поражаются почки (появляются белок и сахар в моче, олигурия). При хронической интоксикации возможны нарушения кроветворения и нервной системы.

Пылинка диаметром 10 мкм будет излучать одну  $\alpha$ -частицу каждые 2 ч, в общей сложности более 4000 в год. Альфа-частицы продолжают травмировать клетки человека, не давая возможности им восстановиться. Кроме того,  $\text{U-238}$  распадается на торий-234, период полураспада которого составляет 24,1 дня,  $\text{Th-234}$  распадается на протактиний-234, период полураспада которого составляет 1,17 дня.  $\text{Pa-234}$  становится  $\text{U-234}$  с 0,24 млн лет полураспада. Торий и протактиний испускают электроны бета-распада. Шесть месяцев спустя они достигнут радиоактивного равновесия с  $\text{U-238}$  с той же дозой радиации. На данном этапе частицы обедненного урана излучают альфа-частицы, вдвое больше бета-частиц и гамма-лучи, сопровождающие процесс распада. Поскольку  $\alpha$ -частицы не проходят дальше 40 мкм, весь ущерб будет нанесен тканям в пределах этого расстояния. Годовая доза, полученная поврежденным участком только от  $\alpha$ -частиц, составит 10 зивертов, что в 10 тыс. раз больше предельно допустимой дозы.

Основной номенклатурой боеприпасов США, использующих обедненный уран, являются зенитные управляемые ракеты и ракеты «воздух-воздух» со стержневыми боевыми частями (БЧ), противотанковые управляемые ракеты; касетные самоприцеливающиеся и самонаводящиеся боевые элементы; выстрелы к противотанковым гранатометам, бронебойные снаряды к противотанковым и малокалиберным авиационным пушкам. Снаряды с урановыми сердечниками – к 30-мм авиационным пушкам или к артиллерийским подкалиберным – применяли американцы в войнах, начав с иракской кампании 1991 года. В тот год они сбросили на иракские бронетанковые части в Кувейте 300 тонн обедненного урана, из них 250 тонн, или 780 тысяч выстрелов, пришлось на авиационные пушки. В Боснии и Герцеговине при бомбежках армии Республики Сербской было истрачено 2,75 тонны урана, а при обстрелах югославской армии в крае Косово и Метохия – 8,5 тонн, или 31 тысяча выстрелов. Один залп состоял примерно из 300 выстрелов, из которых 80% содержало обедненный уран. В цели попадало 10%, а 82% ложилось в пределах 100 метров от них. Остальные рассеивались в пределах 1,85 км. В боевой части ракеты «Томагавк» содержится примерно три килограмма урана, который при взрыве превращался в облако мелких частиц, распространяющееся на несколько десятков метров от места взрыва. Снаряд, попавший в танк,



сгорал и превращался в аэрозоль, легкие цели вроде бронетранспортеров урановый снаряд прошивал насквозь. По оценкам специалистов в аэрозоль превратилось от 10 до 35% использованного урана. Только в Южном Ираке в 1991 году образовалось 3–6 тонн субмикронных частиц урана, которые рассеялись по обширному району, то есть урановое загрязнение там сопоставимо с чернобыльским.

Урановая аэрозоль [1] может проникать в организм, где она становится в десятки миллионов раз более опасной. В микроколичествах (10–5 – 10–8 %) уран обнаруживается в тканях растений, животных и человека. В наибольшей степени накапливается некоторыми грибами и водорослями.

Особенно опасны аэрозоли урана и его соединений. Для аэрозолей растворимых в воде соединений урана ПДК в воздухе 0,015 мг/м<sup>3</sup>, для нерастворимых форм урана ПДК 0,075 мг/м<sup>3</sup>.

Молекулярный механизм действия урана связан с его способностью подавлять активность ферментов. У человека самые уязвимые места – почки, селезенка, кости, печень, бронхи, легкие. Альфа-частицы (ядра атома гелия) имеют по меркам микромира огромную массу и вылетают из ядра урана-238 со скоростью порядка 10 тысяч километров в секунду. Сталкиваясь с близлежащими тканями организма, альфа-частицы производят в них необратимые изменения. При этом 1 мега эл.вольт альфа излучения разрушает около 10 клеток, примерно тоже происходит и с бета излучением. Основная часть поражённых клеток получает спонтанные мутации. Рассчитаем результат действия 1 мг урана 238 за 4,5 года.  $4,5 * 10^9$  лет – период полураспада урана 238. Уран-235 имеет период полураспада  $7,0 * 10^8$  лет. Один грамм урана 238 содержит –  $6,02 * 10^{23}$  атомов (ат). Тогда 1 мг урана 238 будет содержать –  $1/238 000 = 2,5 * 10^{18}$  ат. урана и за 4,5 лет распадётся  $\sim 1,2 * 10^9$  ат. В первой волне образуется около  $63 * 10^9$  трансформированных клеток (от погибших до мутировавших). Это примерно 108 групп клеток в месяц (из 10-20 клеток) (так как они подвергаются групповому воздействию). Объём тела человека около 100 л – получим, что в каждом месте объёмом в 10-9 м<sup>3</sup> – будет такая разрушенная группа или около 1 мм<sup>3</sup> тела раз в месяц испытает внутреннее поражение в любой ткани. Организм рассчитан на другие типы стрессов – эпителиальные и т.п. Разрушение стволовых клеток и нервной ткани – тут будут превалирующим невосстанавливаемым ущербом. При таком массивном воздействии прогноз для человека очень плохой.

Когда речь идет об обнаружении фрагментов или целых боеприпасов, содержащих обедненный уран, существует потенциальная опасность радиационного воздействия на людей, которые находятся в непосредственном контакте с такими фрагментами или боеприпасами и побочный эффект использования таких боеприпасов для мирного населения опасен. Дальнейшее развитие военного применения обедненного урана – крупногабаритные боеприпасы, называемые бетонобойными или бункеробойными, которые проникают в бетонные укрепления, расположенные в нескольких метрах ниже поверхности грунта, и взрывают их. Они уже использовались в реальных боевых действиях. Это управляемое оружие в виде бомб и крылатых ракет предназначено для пробоя укрепленных бетоном бункеров и других целей. Они заряжены урановыми элементами, каждый из которых весит несколько тонн.

Обедненный уран нельзя назвать безопасным для людей материалом. Угроза для человека исходит, как из его радиоактивности, так и из высокой многократно-опасной токсичности и канцерогенности. Таким образом, снаряд с обедненным ураном несёт миллионы смертельных доз в будущее и это элемент геноцида против человечества.

### Список литературы:

1. Андрианов С.В., и др. Обедненный уран: Аэрозольная токсичность, вып.4 / под редакцией профессора Соловьева А.А./ Омск: СО АВН, 2024. 75 с.

