

**Tadeusz Kasperek**  
**Akademia Marynarki Wojennej**

## **SKUTKI RADIACYJNE UŻYCIA AMUNICJI ZE ZUBOŻONYM URANEM**

### **STRESZCZENIE**

Pociski ze zubożonym uranem ( $^{238}\text{U}$ ) były stosowane w wojnach w byłej Jugosławii i Iraku. Stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia i życia osób mających bezpośredni kontakt z pozostałościami po ich eksplozji. Typowymi objawami są skutki popromienne, które wyrażają się chorobowymi zmianami w organizmie, prowadzą do uszkodzenia genów napromieniowanych i powodują zwyrodnienia u ich potomstwa.

### **WSTĘP**

Zubożony uran (ang. *depleted uranium* – DU) zawiera około 99,8% uranu  $^{238}\text{U}$  oraz domieszki innych metali ciężkich, jak pluton  $^{239}\text{Pu}$ , jednej z najbardziej znanych substancji toksycznych. Uran ( $^{238}\text{U}$ ) powstaje w czasie procesu wzbogacania uranu jako produkt uboczny z tetrafluorku uranu. Jest źródłem promieniowania jądrowego<sup>1</sup> alfa, beta oraz gamma jako skutek dalszych przemian w procesie rozpadu promieniotwórczego. Czas połowicznego rozpadu<sup>2</sup> uranu ( $^{238}\text{U}$ ) ocenia się na  $4,51 \cdot 10^9$  (około 4,5 miliarda) lat. Jego gęstość przewyższa gęstość ołowiu o 65% i ma wartość  $18\,000\text{ kg/m}^3$ .

---

<sup>1</sup> Promieniowanie jądrowe – promieniowanie powstające w wyniku reakcji jądrowej lub rozpadu promieniotwórczego, będące emisją cząstek  $\alpha$ , cząstek  $\beta$ , neutronów, fragmentów rozszczepienia kwantów  $\gamma$  i innych cząstek. Zob. *Leksykon naukowo-techniczny*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1989, s. 744.

<sup>2</sup> Okres połowicznego rozpadu  $T_{1/2}$ , zwany też okresem połowicznego zaniku, jest podstawowym parametrem charakteryzującym izotopy promieniotwórcze. Jest to średni czas, po którym połowa pierwotnej liczby jąder atomowych lub cząstek ulega rozpadowi. Zgodnie z prawem rozpadu liczba jąder (cząstek)  $N$  rozpadających się maleje wykładniczo  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ , gdzie  $N_0$  – pierwotna liczba jąder (cząstek);  $N$  – liczba jąder, które nie uległy rozpadowi po czasie  $t$ ;  $\lambda$  – stała rozpadu równa odwrotności czasu życia  $1/\tau$ .

## UŻYCIE AMUNICJI Z DU

Zubożony uran stosuje przemysł zbrojeniowy niektórych państw NATO do produkcji amunicji (stanowi penetrator). Według danych przedstawionych przez dr Dong Zokke<sup>3</sup> wyprodukowano różne rodzaje amunicji o następujących kalibrach:

- 7,62 mm o nieznaney masie;
- 20 mm o masie około 180 g;
- 25 mm o masie około 200 g;
- 30 mm o masie około 280 g;
- 105 mm o masie 3500 g;
- 120 mm o masie 4500 g.

Ponadto niektóre miny lądowe, bomby lotnicze i podamunicja również zawierają pewne ilości zubożonego uranu. Znalazł on także zastosowanie w osłonach antyradiacyjnych (np. w czołgach amerykańskich AIM1). Taką amunicją posiadają armie wielu państw. Między innymi Stany Zjednoczone, Wielka Brytania, Rosja, Turcja, Grecja, Arabia Saudyjska, Izrael i Kuwejt.

W chwili uderzenia pocisku z około 40% zubożonego uranu (penetratora) tworzą się tlenki uranu (dwutlenek – rozpuszczalny w wodzie i trójtlenek – nierozpuszczalny) albo rozpada się on w formie małych kawałków (drobin) i zapala jeszcze w locie lub w momencie dojścia do celu. Można przypuszczać, że po raz pierwszy zubożonego uranu użyto w czasie wojny arabsko-izraelskiej w 1973 roku. Podczas wojny w Zatoce Perskiej amunicję taką zastosowano w skali masowej (lotnictwo – około 850 tysięcy pocisków, czołgi – niecałe 10 tysięcy). Stanowi to masę o wartości ponad 315 Mg (ton). Ocenia się, że amunicji tej użyto również w Serbii (1995 r.) w liczbie około 10 tysięcy pocisków, a w latach 1999 – 2000 w Kosowie i Serbii – około 31 tysięcy. W Iraku, gdzie prawdopodobnie użyto dziesiątki tysięcy sztuk amunicji ze zubożonym uranem, poziom promieniowania jądrowego (w pobliżu pozostałości rozerwanego pocisku) przewyższał 1000 razy wartość tła<sup>4</sup>. Obszarem szczególnie charakteryzującym się wysoką aktywnością promieniotwórczą są rejony wokół Bagdadu.

Stąd wniosek, że w Iraku użyto wiele pocisków ze zubożonym uranem, ponieważ rejestrowano wysoki poziom promieniowania jonizującego. Skutki jego oddziaływania odczuwają zarówno weterani wojny w Zatoce Perskiej, jak i ludność Iraku. W formie szczególnej ujawniają się one wśród potomstwa napromieniowanych (białaczka, deformacje ciała itp.).

<sup>3</sup> „Nexus”, 2003, nr 5(31), s. 14.

<sup>4</sup> „Nexus”, 2004, nr 4(36), s. 5.

## SKUTKI ZDROWOTNE

Szkodliwość zubożonego uranu dla ludzi wynika z oddziaływania cząstek alfa ( $\alpha$ ) po wchłonięciu uranu do organizmu drogami oddechowymi i pokarmowymi i promieniowania beta ( $\beta$ ) w przypadku bezpośredniego kontaktu. Stąd ich identyfikacja, a tym samym diagnoza przyczyn znacznej zachorowalności osób, które przebywały w obszarze stosowania tego rodzaju pocisków, są niezwykle trudne.

Dotychczasowe badania wykazały, że skutkami ekspozycji ludzi na promieniowanie jądrowe<sup>5</sup> ( $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$ ) są między innymi zaburzenia neurologiczne, kamica nerkowa i bóle nerek, wysypki, pogorszenie widzenia, nowotwory skóry, niewydolność płciowa, ślady uranu w spermie oraz wrodzone wady u potomstwa napromieniowanych (deformacje ciała).

Takie objawy występują u osób, które miały bezpośredni kontakt z pozostałościami po pociskach ze zubożonym uranem. Stąd pojawiają się sugestie, że w Afganistanie użyto nowych rodzajów broni radioaktywnych, chociaż nie znaleziono tam dowodów na zastosowanie zubożonego uranu. Jednakże badania wykazały znaczny poziom uranu w moczu u Afgańczyków<sup>6</sup>.

Każdy rodzaj promieniowania jonizującego (również pośrednio neutronowe) prowadzi do powstania choroby popromiennej. Najbardziej niebezpieczne ze względu na przenikliwość przy napromieniowaniu zewnętrznym jest promieniowanie elektromagnetyczne gamma ( $\gamma$ ), a przy wewnętrznym cząstki alfa ( $\alpha$ ). Skutki napromieniowania można zobrazować jako efekty stochastyczne i deterministyczne.

Efekty stochastyczne polegają na zachodzących zmianach w pojedynczych komórkach. Jonizacja lub wzbudzenie molekuly wywołane przez promieniowanie prowadzą do zmiany struktury molekularnej, co z kolei powoduje zakłócenie ich roli w funkcjonowaniu komórek organizmu. Ważnym zjawiskiem jest

---

<sup>5</sup> Promieniowanie jądrowe powoduje zmiany w tkance żywej. Te zmiany zależą od rodzaju promieniowania, jego natężenia i energii, a także rodzajów tkanki, położenia źródła promieniowania i czasu ekspozycji. Promieniowanie jonizujące (krótkofalowe promieniowanie elektromagnetyczne, rentgenowskie lub gamma oraz każde inne promieniowanie składające się z cząstek jonizujących bezpośrednio, np. elektron, proton, lub pośrednio, np. neutron, foton) oddziałując z tkanką żywą, powoduje jonizację atomów i zmianę przebiegu procesów biologicznych w komórce. Mogą to być zmiany somatyczne, trwałe dla danego organizmu, jak również zmiany genetyczne, przekazywane następnym pokoleniom. Szczególnie niebezpieczne jest napromieniowanie wewnętrzne (skażenie wewnętrzne organizmu izotopami radioaktywnymi), gdyż nawet mało przenikliwe promieniowanie wywołuje znaczny efekt jonizacji. Zob. *Ilustrowana encyklopedia dla wszystkich*, wydanie drugie, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1987, s. 219.

<sup>6</sup> Por. „Nexus”, 2004, nr 1(33), s. 5.

radioliza wody. Szczególnie niebezpieczne są uszkodzenia DNA, które mogą wywołać śmierć komórki lub jej modyfikację. Zmodyfikowana komórka somatyczna, która zachowała zdolność reprodukcji, może zapoczątkować klon prowadzący do rozwoju nowotworu. Mutacja genów lub aberracja chromosomów może spowodować, że potomstwo będzie dziedziczyło cechy odbiegające od normy.

Efekty deterministyczne (dziedziczne, genetyczne) powstają przy napromieniowaniu ostrym (duża dawka jednorazowa) lub przewlekłym (miejscowym lub całego ciała). Duża liczba komórek narządu lub tkanki zostaje zniszczona lub pozbawiona zdolności reprodukcji, co prowadzi do tego, że narząd traci przejściowo lub na stałe zdolności funkcjonowania (może prowadzić do śmierci napromieniowanej osoby). Stąd skutki szkodliwego działania promieniowania można podzielić na dwie zasadnicze kategorie:

1. Skutki somatyczne – występujące u osób napromienionych, które mogą być:
  - wczesne, występujące w okresie dni lub tygodni po napromienieniu;
  - późne, ujawniające się po upływie miesięcy lub lat.
2. Skutki deterministyczne (dziedziczne, genetyczne) – występujące u potomstwa osób napromienionych.

Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) w swoich postanowieniach zawartych w publikacji ICRP Serii Bezpieczeństwa nr 9 określiła normy, jakich należy przestrzegać w przypadku występowania promieniowania jonizującego. W dziale poświęconym rocznym limitom dawek zawarte jest stwierdzenie, że limitów równoważnika dawki nie stosuje się do dawek wynikłych na przykład z napromieniowania chorych dla celów medycznych oraz wynikłych z promieniowania tła naturalnego (§ 408). Przy czym w § 706 podkreślono, że jakkolwiek limity równoważnika dawki nie stosują się w zasadzie do dawek od naturalnego tła promieniowania, władze danego kraju mogą określić, w jakich warunkach, dających kontrolować się administracyjnie, technologicznie podwyższone ekspozycje od źródeł promieniowania naturalnego będą poddane ograniczeniu przez limity równoważników dawek wymienionych w paragrafach 405, 411, 418 i 419. Termin „technologicznie podwyższona ekspozycja od źródeł naturalnych” oznacza napromienienie pochodzące od naturalnych źródeł promieniowania, których stan pierwotny został zmieniony przez działalność człowieka. Ekspozycja tego rodzaju może pochodzić od użytkowania surowców lub produktów odpadowych przemysłu. Przykładami są użytkowanie paliw kopalnianych, użytkowanie nawozów zawierających fosfority, prace niektórych kopalń, materiały budowlane itp.

Limity dawek odnośnie ludności (ludzi niepracujących zawodowo z promieniowaniem) sprecyzowano w § 418 w sposób następujący: „Roczny limit efektywnego równoważnika dawki dla osób wynosi 5 mSv, a roczny limit równoważnika dawki dla poszczególnych narządów lub tkanek wynosi 50 mSv”. Powyższe limity mogą być stosowane dla krytycznych grup ludności. W tym miejscu należy zaznaczyć, że grupa krytyczna dla danego źródła promieniowania to grupa ludzi, której napromieniowanie jest w miarę jednorodne i charakterystyczne dla osób otrzymujących najwyższe dawki. Z tych danych wynika, że nie ma pojęcia dawki bezpiecznej, a każda dawka wywołuje bliżej nieokreślony skutek biologiczny, gdyż ma charakter osobniczy.

Promieniowanie jonizujące oddziałuje praktycznie ze wszystkimi substancjami chemicznymi i to prawie zawsze ze zmianą struktury związku, cząsteczki lub atomu. Specyfiką oddziaływania promieniowania jonizującego są procesy radiolizy substancji organicznych i nieorganicznych mających wpływ na zdrowie i życie organizmów żywych.

Skazenia organizmu będą zachodziły głównie drogą pokarmową, inhalacyjną i na skutek zewnętrznego napromienienia. Przy dużych dawkach promieniowania, występujących zwłaszcza po wybuchach jądrowych, podstawowe zagrożenie dla organizmów żywych będzie stanowiło promieniowanie gamma. Zasadniczy efekt biologiczny objawi się chorobą popromienną, będącą skutkiem oddziaływania promieniowania na żywe komórki.

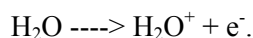
Ponadto, w wyniku radiolizy wody, powstają wolne rodniki, które odpowiedzialne są za szereg niekontrolowanych reakcji, powodując zmiany mutagenne komórek i tkanek oraz upośledzenie lub likwidację ich funkcji życiowych.

Pozornie może wydawać się dziwne, że działanie promieniowania na organizmy żywe nie jest tak silne. Energia przekazywana tkance w wyniku napromienienia dawką śmiertelną wynosi  $5 \cdot 10^{-3}$  J na 1 g tkanki i jest równoważna 0,001 kalorii wydzielonego ciepła. Dostarczenie takiej ilości ciepła może spowodować podwyższenie temperatury 1 g tkanki jedynie o 0,001 K (0,001 °C), a więc sama zmiana jest dla organizmu obojętna.

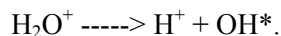
Dla określenia wpływu promieniowania na organizm należy zapoznać się z budową komórki. Najogólniej komórka zbudowana jest z dwóch zasadniczych części: protoplazmy wypełniającej prawie całą komórkę i jądra komórkowego. W jądrze znajdują się chromosomy zawierające kwas dezoksyrybonukleinowy (DNA) będący nośnikiem informacji genetycznej. Rola tej informacji polega na tym, że określa ona budowę cząstek białek strukturalnych i enzymatycznych syntetyzowanych w komórce.

Energia  $5 \cdot 10^{-3}$  J na gram wody przekazywanej przez promieniowanie jonizujące powoduje około  $10^{15}$  jonizacji. Przy masie komórki wynoszącej średnio  $10^{-9}$  g oznacza to, że powstaje w niej około  $10^6$  cząsteczek zjonizowanych. Jedna komórka zawiera około  $10^8$  dużych cząstek niezbędnych dla życia komórki (kwasy nukleinowe, białka) oraz  $10^{13}$  cząsteczek wody. Z tej bardzo uproszczonej analizy wynika, że promieniowanie może naruszyć tylko nieznaczny procent cząstek w komórce. Aby naruszyć proces życiowy komórki, nie trzeba koniecznie wywołać uszkodzenia wszystkich części komórek. Wystarczy jedynie nieznacznie naruszyć złożony aparat (zresztą nie do końca poznany) regulujący wszystkie procesy zachodzące w komórce i określający dziedziczność – łańcuchy DNA.

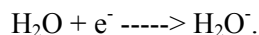
Promieniowanie jonizujące może wywoływać bezpośrednie zmiany w cząsteczce DNA, wybijając elektrony, które zapewniają chemiczną więź poszczególnych części tych cząsteczek. Jest to tzw. działanie bezpośrednie oddziaływania promieniowania. Może ono jednak działać na cząsteczki DNA również pośrednio, wywołując jonizację wody wchodzącej w skład protoplazmy. Cząsteczki wody pod wpływem promieniowania podlegają procesowi radiolizy. Cząsteczka wody ma na zewnętrznej orbicie 8 elektronów. Jonizacja jej powoduje utratę elektronu i powstanie wolnego jonorodnika  $H_2O^+$



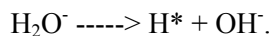
Jednorodnik  $H_2O^+$  jest niestały i natychmiast rozpada się na proton wodoru i wodny rodnik hydroksylowy  $OH^*$



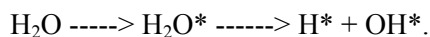
Elektron oderwany od cząsteczki wody może być wychwytywany przez inną cząsteczkę wody, dając w efekcie jonorodnik  $H_2O^-$



Jest to nietrwały produkt szybko rozpadający się na rodnik wodoru i jon hydroksylowy

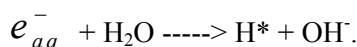


Wzbudzenie cząsteczki wody przez napromienienie powoduje jej dysocjację na rodniki wodoru i hydroksylowy

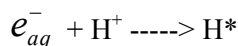


Rodniki  $H^*$ , jak  $OH^*$ , mają małe wymiary i mogą szybko dyfundować i reagować z innymi cząsteczkami, między innymi z cząsteczkami istotnymi z biologicznego punktu widzenia. Może zdarzyć się, że rodnik połączy się z taką cząsteczką w miejscu, od którego zależy jej funkcja, niekiedy ważna, dla życia komórki i spowoduje, że cząsteczka utraci zdolność do jej wykonywania.

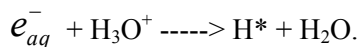
Wśród produktów radiolizy wody na uwagę zasługuje wykryty w 1962 roku elektron uwodniony. Powstaje on z elektronu emitowanego w procesie jonizacji. Po utracie energii na skutek oddziaływania z innymi cząsteczkami zostaje on spowolniony do wartości energii 0,025 eV, odpowiadającej równowadze termicznej z otoczeniem w normalnej temperaturze. Cząsteczki wody ustawiają się w polu elektrycznym elektronu w ten sposób, że powstaje quasi-cząsteczka, w której elektron związany jest z wieloma cząsteczkami wody. W tym układzie elektron może zajmować określone orbity, czyli mieć kwantowane poziomy energii. Różnice między tymi poziomami energii powodują pojawianie się widma absorpcji świetlnej. Maksimum absorpcji obserwuje się przy 7200 nm. Czas życia uwolnionego elektronu jest rzędu  $2,3 \cdot 10^{-4}$  s. W środowisku obojętnym lub alkalicznym jest głównym czynnikiem redukcyjnym



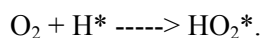
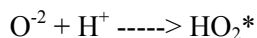
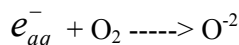
W środowisku kwaśnym zachodzi reakcja



lub



W obecności tlenu reakcje pomiędzy  $e_{aq}^-$ ,  $H^*$  i  $O_2$  prowadzą do wytworzenia rodnika  $HO_2^*$ , zgodnie z reakcją



Wolne rodniki, o bardzo wysokiej reaktywności chemicznej, tworzą niespecyficzne dla komórki połączenia z DNA i białkami, degenerując lub niszcząc je. Efektem procesów rodnikowania oraz wtórnych procesów chemicznych w komórce może być powstawanie nowych komórek o zmienionym kodzie genetycznym (mutantów), co powoduje zmiany chorobowe w organizmie (choroby nowotworowe, np. białaczka będąca wynikiem uszkodzenia szpiku kostnego), a bardzo często obumarcie komórek, co również może powodować zmiany patologiczne w organizmie (np. alergię)<sup>7</sup>. Napromieniowanie ciała prowadzi do dużych zmian w funkcjonowaniu organów wewnętrznych. Skutki napromieniowania dużymi dawkami przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości progowych dawek równoważnych dla wybranych narządów

Organ (tkanka)	Efekt napromieniowania	Wartość dawki równoważnej jednorazowej [Sv]
Jądra	Czasowa niepłodność	0,15
	Trwała niepłodność	3,5 ÷ 6,0
Jajniki	Trwała niepłodność	2,5 ÷ 6,0
Soczewka oka	Dostrzegalne zmętnienie	0,5 ÷ 2,0
	Katarakta	5,0
Szpik kostny	Uchwytnie, odwracalne zahamowanie funkcji krwiotwórczej	0,5

Źródło: A. Hrynkiewicz, *Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego*, PAA, Instytut Fizyki Jądrowej, Warszawa – Kraków 1993, s. 23.

## ZAKOŃCZENIE

Duże ilości odpadów radioaktywnych powstające podczas pracy energetycznych reaktorów jądrowych znalazły zastosowanie w procesach produkcji uzbrojenia. Przydatność wzbogaconego uranu (DU), głównie jako penetratora, spowodowała

<sup>7</sup> Śladkowski S., Harmata W., *Ochrona przed środkami promieniotwórczymi*, AON, Warszawa 1994.



jego zastosowanie w pociskach o różnych kalibrach, minach lądowych i bombach lotniczych. Tego typu amunicję użyto podczas wojny arabsko-izraelskiej (1973 r.), w Zatoce Perskiej, Serbii, Kosowie i Iraku. Oddziaływanie uranu w postaci promieniowania jądrowego powoduje zmiany w organizmach osób będących na nie narażonych. Skutkiem są zjawiska stochastyczne i deterministyczne. W końcowym efekcie pochłonięta energia promieniowania zostaje zużyta na powstanie uszkodzeń biologicznych i wzrostu ciepła. Należy w tym miejscu wspomnieć o zjawisku hormezy<sup>8</sup>, a szczególnie hormezy radiacyjnej<sup>9</sup>, to jest takiej czynności organizmu, która powoduje wytworzenie funkcji obronnych, prowadzących do uodpornienia na dalsze napromieniowanie. To zjawisko nie jest do końca wyjaśnione i udowodnione. Nie ma, jak dotychczas, podstaw, by je kwestionować lub akceptować.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] *Ekologia. Słownik encyklopedyczny*, Wydawnictwo EUROPA, Wrocław 2005.
- [2] Hrynkiewicz A., *Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego*, PAA, Instytut Fizyki Jądrowej, Warszawa – Kraków 1993.
- [3] Kasperek T., *Zagrożenie jednostek pływających Marynarki Wojennej i baz morskich (portów) toksycznymi i promieniotwórczymi środkami przemysłowymi w kontekście zadań i możliwości obrony przeciwchemicznej*, rozprawa habilitacyjna, AON, Warszawa 2003.

---

<sup>8</sup> Hormeza (gr. *hormao* – pobudzam): reakcja organizmu na działanie małych dawek czynników stresowych, np. substancji toksycznych, promieniowania jonizującego, objawiająca się mobilizacją i pobudzeniem komórek do produkcji białek ochronnych biorących udział w naprawie uszkodzonego DNA, błon komórkowych i organellowych. Jest reakcją na krótko- lub długotrwały stres środowiskowy o niewielkim natężeniu (zob. *Ekologia. Słownik encyklopedyczny*, Wydawnictwo EUROPA, Wrocław 2005, s. 133); inaczej: jest to powszechne zjawisko biologiczne polegające na tym, że niskie natężenia bodźca pobudzają aktywność komórki, średnie natężenia tego samego bodźca hamują jej aktywność, a wysokie niszczą komórkę ([www.scholz.pl](http://www.scholz.pl)).

<sup>9</sup> Hormeza radiacyjna (ang. *radiation hormesis*): zjawisko (kwestionowane przez niektórych badaczy) polegające na dobroczynnym działaniu bardzo niskich dawek czynnika, który w wyższych dawkach powoduje skutek szkodliwy. W przypadku promieniowania jonizującego jest to zazwyczaj pobudzenie wzrostu populacji komórek. Ponieważ promieniowanie powoduje radiolizę wody z wytworzeniem aktywnych form tlenu, a niektóre z nich pełnią funkcję przekaźników sygnałów mutanogennych, przypuszcza się, że taki jest mechanizm pobudzenia proliferacji przez bardzo niskie dawki promieniowania (zob. *PTBioch Leksykon On-Line*, <http://arete.ibb.waw.pl>); inaczej: hipotetyczny korzystny wpływ małych dawek promieniowania jonizującego (powyżej tła) na żywe organizmy polegający m.in. na zmniejszeniu prawdopodobieństwa zachorowania na nowotwory i inne choroby o podłożu genetycznym (<http://pl.wikipedia.org> H<sub>2</sub>O).

- [4] „Nexus”, 2003, nr 5(31); 2004, nr 1(33), nr 4(36), edycja polska.
- [5] Śladkowski S., Harmata W., *Ochrona przed środkami promieniotwórczymi*, AON, Warszawa 1994.

### ABSTRACT

Ammunition with depleted uranium ( $^{238}\text{U}$ ) was used in wars in former Yugoslavia and Iraq. It constitutes serious threat to health and life of people having direct contact with residues after their explosion. Post-radiation effects are the typical symptoms. These are changes in the organism which lead to damage in radiated genes and cause degeneration in their offspring.

Recenzent prof. dr hab. Michał Krauze