ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 78 GEOCHRONOMETRIA 12 Nr kol. 1316

Katarzyna KOSTKA,
I LO im. Stanisława Staszica w Chrzanowie

Zima nuklearna

Streszczenie. Zima nuklearna jest efektem wojny nuklearnej. Wszystkie dotychczasowe modele zimy nuklearnej opierają się na czysto hipotetycznych i statystycznych założeniach oraz na eksperymentach laboratoryjnych i symulacjach komputerowych. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników tych doświadczeń, a także futurologicznych prognoz dotyczących skutków ewentualnego konfliktu nuklearnego.

1. Początki

Następstwa wojny nuklearnej znane pod mianem "zimy nuklearnej" są problemem szczególnie trudnym, a zarazem niezwykle ważnym. Trudnym, ponieważ dopiero stosunkowo od niedawna są przedmiotem badań naukowych. Nowe artykuły w tej sprawie pojawiają się w piśmiennictwie w tempie około jednego miesięcznie. Istnieje wiele sprzecznych opinii, dużo różnorodnych faktów, a także sporów, jak to zwykle bywa, gdy pojawia się nowe pole badań naukowych. Dotyczy to zwłaszcza skutków wojny nuklearnej wywołanych w atmosferze. Na szczęście, nie ma modelu "laboratoryjnego" wojny jądrowej ani też bezpośrednich danych doświadczalnych. W związku z tym badania opierają się na komputerowych modelach skutków wybuchów nuklearnych oraz komputerowym modelowaniu atmosfery, a zwłaszcza całości atmosfery jako pojedynczego układu. Jest to dziedzina nowa i niedoskonale opanowana. Mimo tych trudności przedmiot tych rozważań ma duże znaczenie, ponieważ

zima nuklearna istotnie zmienia i zwiększa ryzyko wojny jądrowej, tak jakościowo jak i jeżeli chodzi o jej zasięg.

Do początków lat osiemdziesiątych ograniczano się do rozważań skutków wojny nuklearnej uwzględniając jedynie następstwa fali uderzeniowej, rażenia termicznego oraz promieniowania. Później zwrócono uwagę na zniszczenie warstwy ozonu w atmosferze, a wynikające stąd ryzyko działania przenikliwego promieniowania ultrafioletowego znalazło się także wśród szkodliwych następstw. Około roku 1984 podniesiono po raz pierwszy zjawisko rozległych skutków wojny nuklearnej w atmosferze ziemskiej. W letnim wydaniu AMBIO z roku 1982, międzynarodowego czasopisma dotyczącego odnowy środowiska, wydanego przez Szwedzką Królewską Akademię Nauk, Paul Crutzen z Berlina oraz John Birks z Denver zwrócili uwagę na prawdopodobieństwo głębokich zaburzeń atmosferycznych i istotnych zmian klimatu po wojnie nuklearnej. Stwierdzili oni, że naziemne wybuchy jądrowe wyrzucą wysoko do atmosfery miliony ton pyłu, a wybuchy powietrzne, zwłaszcza te, które nastąpią nad lasami i miastami, spowodują olbrzymie pożary, które dadzą olbrzymie objętości dymów i sadzy. Cząsteczki pyłu, a zwłaszcza pył i sadza w troposferze i stratosferze, pochłaniać będą światło i ciepło słoneczne. Ciepło pochłonięte na znacznych wysokościach, w górnych warstwach atmosfery - zwykle bardzo zimnych - ogrzeje je znacznie, a warstwy położone tuż przy powierzchni Ziemi ulegną oziębieniu. Nastąpi więc gigantyczne odwrócenie relacji temperatur. Absorpcja promieniowania słonecznego na dużych wysokościach spowoduje ciemność lub prawie pełną ciemność, która może upośledzić proces fotosyntezy i przerwać albo zniszczyć łańcuch pokarmowy. Jest godne uwagi, że w badaniach opublikowanych przez Amerykańską Akademię Nauk w roku 1975, dotyczących skutków światowej wojny nuklearnej, nie uwzględniono w ogóle tych konsekwencji atmosferycznych.

2. Badania w roku 1983

Na podstawie prac Curtzena i Birksa, w ciągu następnych kilku lat, uczeni zajmujący się badaniami atmosfery - Turco, Toon, Ackerman i Polak, tzw. zespół TTAPS, stworzyli model komputerowy globalnej atmosfery i zastosowali go do wyliczeń skutków atmosferycznych ponad 12 scenariuszy wojny nuklearnej, poczynając od uderzeń 100 megaton aż do 10 000

megaton. Rozważano scenariusze wybuchu powietrznego, naziemnego, scenariusze mieszane z różnymi wariantami celów. Za scenariusz podstawowy przyjęto uderzenie nuklearne 5 000 megaton prawie całkowicie na półkuli północnej w Stany Zjednoczone, Europę i były Związek Radziecki, w którym 20% stanowią wybuchy powietrzne nad dużymi miastami i ośrodkami przemysłowymi. Jest to przy obecnych arsenałach zupełnie realna możliwość totalnej wojny nuklearnej. Dla każdego scenariusza rozważano:

1. Ile powstanie pyłu i dymu?
2. Ile światła słonecznego ulegnie absorpcji przez pyły i dymy?
3. Jak zmieni się temperatura?
4. Jak rozprzestrzenią się pyły i dymy i kiedy opadną na Ziemię?
5. Jak rozprzestrzeni się i jak długo utrzyma opad radioaktywny?
6. Ile promieniowania ultrafioletowego osiągnie ziemię, gdy pyły i dymy opadną?

Wyniki te oceniała odrębna grupa ludzi - 40 biologów, której przewodniczył ekolog z Uniwersytetu Stanford, profesor Paul R. Erlich. Rozważali oni możliwe biologiczne i ekologiczne następstwa wojny. Wnioski z tych badań przedstawiają się następująco:

1. Głęboka ciemność zapanuje na półkuli północnej. W ciągu tygodnia po uderzeniu nuklearnym natężenie światła słonecznego na powierzchni Ziemi może ulec zmniejszeniu do kilku procent normalnego natężenia światła. Światło ulegnie pochłonięciu głównie przez sadze i dymy z pożarów wznieconych przez wybuchy naziemne i powietrzne, pyły natomiast wzniosą się po wybuchach naziemnych, będą one miały jednak mniejsze znaczenie dla zmian klimatu, ponieważ są zazwyczaj złymi absorbentami.

2. Zmniejszenie natężenia światła słonecznego może przerwać fotosyntezę i zagrozić łańcuchowi pokarmowemu. W ciągu kilku miesięcy po wymianie ciosów nuklearnych ilość światła słonecznego docierającego przez zanieczyszczenia atmosfery może okazać się niewystarczająca do utrzymania procesu fotosyntezy. Jeżeli przyjmie się nawet, że rośliny nie ulegną uszkodzeniu w inny sposób, co jest przecież nierealistyczne, brak światła upośledzi znacznie ich wzrost a skutki te przeniosą się kaskadowo na inne łańcuchy pokarmowe.

3. Następstwa na półkuli południowej donioślejsze niż dotychczas sądzono. Duże zaburzenia cyrkulacji mas powietrznych przyspieszą przesuwanie się dymów, pyłów oraz radioaktywności z następującą ciemnością i zimnem na rozległych obsarach. W ten sposób nad półkulą południową mogą znaleźć się szybko zanieczyszczenia atmosfery powstałe po wojnie nuklarnej.

4. Zapanuje ostra "zima nuklearna". Wojna nuklearna wywrze najprawdopodobniej znaczny wpływ na klimat, wpływ, który utrzyma się na kilka lat. Nastąpi szybki spadek temperatury do poziomu punktu zamarzania na kilka miesięcy. Pojawią się gwałtowne zaburzenia pogody i opadów. Gdyby nawet wojna nastąpiła latem, na wielu obszarach mogą wystąpić stałe opady śniegu trwające miesiącami.

5. Obniżenie temperatury zmniejszy wydatnie szanse przeżycia gatunku ludzkiego. Poza obszarami przy brzegach mórz temperatura obniży się z poziomu normalnego do - 15^{0}C, a nawet może do - 25^{0}C. Wpływ gwałtownego obniżenia temperatury na rośliny będzie zależał od pory roku, czasu trwania tego spadku oraz granic tolerancji roślin. Gwałtowna zmiana temperatury będzie miała znaczenie, ponieważ rośliny, które normalnie znoszą te temperatury, nie zdążą rozwinąć tolerancji. Wojna wywołana wiosną albo latem zniszczy lub uszkodzi wszystkie zbiory na półkuli północnej.

6. Większość zasobów żywności ze źródeł nie pochodzących z upraw może ulec zniszczeniu, tak jak większość hodowli zwierząt. Większość zwierząt, które przeżyją, padnie z pragnienia, ponieważ wody powierzchniowe zamarzną na głębokość jednego metra w środku obszarów kontynentalnych. Dostępne zapasy żywność ulegną szybkiemu wyczerpaniu. Większość ludzi, którzy przeżyją, stanie w obliczu głodu.

7. Obszary nie będące bezpośrednim celem ataku, a importujące żywność zostaną również bezpośrednio dotknięte. Kraje, które opierają się na dużym imporcie żywności, także te, które nie będą przedmiotem ataku nuklearnego, będą zmuszone sięgnąć do miejscowych ekosystemów rolniczych i naturalnych. Dotknie to najciężej kraje mniej rozwinięte, zwłaszcza okolic równikowych.

8. Oceany nie zamarzną, ponieważ są olbrzymimi rezerwuarami ciepła, a obszary przybrzeżne będą chronione przed spadkami temperatury. Niemniej jednak, duże różnice między temperaturą mórz i lądów wywołają gwałtowne sztormy. Trudno przypuszczać, żeby obszary przybrzeżne mogły stać się źródłem żywności dla tych, którzy przeżyją, ze względu na

masywny napływ mułu i substancji toksycznych, zniszczenie środków transportu wodnego oraz skażenie radioaktywne ryb i innych organizmów morskich.

9. Ogień będzie głównym problemem, który wywoła poważne i nieoczekiwane konsekwencje. Około 240 000 km^2 zurbanizowanych obszarów ulegnie częściowemu spaleniu przez około 1 000 megaton wybuchu w scenariuszu podstawowym. Pozostałe 4 000 ton mogą wzniecić gwałtowne pożary, które w sposób niekontrolowany mogą rozprzestrzenić się na znacznych obszarach. I tak np. liczne wybuchy powietrza nad Kalifornią późnym latem lub wczesną jesienią mogą spalić większość stanu oraz spowodować katastrofalne powodzie i erozję w następnej, deszczowej porze roku.

10. Pożary miast staną się źródłem śmiertelnych toksyn. W miastach magazynuje się znaczne ilości materiałów palnych i syntetycznych, które będą źródłem znacznych ilości gazów toksycznych (pyrotoksyn) w czasie spalania, w tym tlenku węgla, cjanków, dioxin i furanów. Przenoszone do odległych nie dotkniętych ekosystemów przez wiatr - wytworzą dalsze niekorzystne skutki uboczne.

11. Zniszczenie ozonu zwiększy narażenie na światło ultrafioletowe. Eksplozje o dużej mocy wprowadzą do stratosfery tlenki azotu, co spowoduje zmniejszenie warstwy ozonu. Początkowo pyły i sadze będą absorbowały zwiększoną ilość promieniowania ultrafioletowego, lecz gdy opadną po miesiącach, to natężenie promieniowania ultrafioletowego wzrośnie o 1,6-krotnie w stosunku do wartości prawidłowej.

12. Lasy tropikalne ulegną zniszczeniu. Rośliny tropikalne gorzej zniosą nawet okresy zimna i ciemności niż rośliny strefy umiarkowanej. Lasy tropikalne, które są podstawowym zasobem życia organicznego, znikną na znacznych obszarach. Doprowadzi to do wyniszczenia większości gatunków roślin i zwierząt. Co więcej, zależność populacji miejskich wielu krajów tropikalnych i rozwijających się od importu żywności doprowadzi do dalszych poważnych konsekwencji, nawet jeżeli kraje te nie będą bezpośrednio dotknięte wojną. Masy ludzi będą musiały opuścić miasta i próbować uprawy pozostałych obszarów lasów, co doprowadzi do dalszego ich niszczenia a może i wyginięcia.

13. Nawet małe wybuchy mogą wywołać ciężkie następstwa. W scenariuszu 100-megatonowym, w którym bomby wybuchają nad miastami, ilość dymu i sadzy wskutek pożarów może wytworzyć dwumiesięczny okres obniżenia temperatury z minimum - 23 ^{0}C.

Wywołana tym wybuchem ciemność i zimno mogą mieć podobne natężenie jak po powietrznych i naziemnych wybuchach bomb 5 000-megatonowych.

Tak więc w następstwie wymiany uderzeń nuklearnych mocy 5 000 megaton ci, którzy przeżyją, będą narażeni na krańcowe zimno, brak wody, żywności i paliw oraz na wysoki poziom promieniowania i inne skażenia, choroby, stres psychologiczny - wszystko to o zmroku lub w ciemności. Wydaje się jasne, że następstwa w ekosystemach będą w tym stopniu nasilone, że mogą zniszczyć cywilizację, przynajmniej na półkuli północnej.

Te odległe skutki w połączeniu z bezpośrednimi ofiarami wybuchu sugerują, że na półkuli północnej może zabraknąć ludzi, którzy przeżyją, a ludzie i zwierzęta na półkuli południowej mogą być narażeni na wiele szkodliwych następstw wybuchów nuklearnych.

Tak przedstawia się katastroficzny obraz zimy nuklearnej według modeli i wyliczeń Sagana, Erlicha i ich współpraowników. W tym samym czasie uczeni radzieccy akademik Aleksandrow i G. L. Stenczikow z Centrum Komputerowego Akademii Nauk byłego ZSRR prowadzili podobne badania symulacyjne za pomocą komputerów. Ich wyniki podane do wiadomości w tym samym czasie okazały się zadziwiająco zbliżone. Potwierdziły je również badania przeprowadzone przez grupę naukowców, którą poprowadził M. Mac Craken z laboratorium Livermore w Kalifornii.

Nowy komitet Amerykańskiej Akademii Nauk przystąpił do ponownego opracowania i aktualizacji badań rozpoczętych w roku 1975, dotyczących globalnych skutków wojny nuklearnej. Wielu członków tego Komitetu było aktywnymi uczestnikami grupy Erlicha, Sagana i komisji oceniających ich wyniki. Oczywiście, publikacje Erlicha i Sagana rozpowszechniano też w społeczności naukowej, do której Akademia Nauk zwraca się o komentarze i rady. Oczekiwano, że Komitet Amerykańskiej Akademii Nauk szybko potwierdzi wyniki dotyczące zimy nuklearnej. Tak się jednak nie stało. Pierwsza wersja nowego raportu Akademii Nauk spowodowała ok. 500 technicznych i naukowych komentarzy, uwag krytycznych i propozycji zmian. Nowej, poprawionej wersji spodziewano się we wrześniu 1984 r. Pojawiła się nowa fala badań naukowych, publikacje oraz jeden raport istotnie różniący się od obliczeń zespołu Sagan - TTAPS.

3. Rozwój

Aby zrozumieć, co się stało i co się dzieje, należy uwzględnić dwa zasadnicze problemy dotyczące obliczeń procesów prowadzących do zimy nuklearnej. Po pierwsze: w tych badaniach wszystko zależy lub jest w znacznym stopniu zdeterminowane przez komputerowy model całości atmosfery. Modele takie opracowano dopiero na początku lat osiemdziesiątych. Różnią się one stopniem złożoności i zmieniają się szybko wraz z rozwojem nauki o atmosferze oraz metod komputerowych. I tak np. obliczenia Sagana i TTAPS opierały się na względnie prostym modelu atmosfery - jednowymiarowym modelu radiacyjno - konwekcyjnym. Oznacza to, że przedstawia on skutki temperaturowe pochłaniania ciepła przez dymy tylko w jednym wymiarze, tj. pionowym, czyli wysokości. Dla wszystkich wariantów poziomych (szerokość, długość albo rozległość północ - południe czy wschód - zachód) parametryzuje się lub upraszcza szerzenie dymów i sadzy oraz wynikające stąd zmiany temperatury.

Istnieją jednak trójwymiarowe modele atmosfery, przy których wylicza się, a nie zakłada lub uśrednia zjawiska zaburzeń ciepła we wszystkich wymiarach. I tak np. przy modelu jednowymiarowym uzyskuje się spadki temp. o 30°C, przy modelu dwuwymiarowym przewiduje się spadek temperatury jedynie o 15°C. Modele różnią się nie tylko liczbą wymiarów, lecz także stopniem ich złożoności. W jednym modelu atmosfera podzielona jest na dwie warstwy, podczas gdy w innym składa się aż z dziewięciu warstw. Im większa liczba warstw, tym większa jest zdolność rozdzielcza modelu, czyli zdolność przewidywania zmian klimatu na względnie małych obszarach. Najbardziej złożone są współczesne - trójwymiarowe modele globalnej cyrkulacji w atmosferze, które uwzględniają zmiany regionalne, zmiany sezonowe oraz względnie dokładnie wyliczają silne wiatry na dużych obszarach. Dalszym stopniem komplikacji jest trójwymiarowy model interakcyjny, który umożliwia wyliczenie zmian dynamicznych, czyli uwzględnia rozprzestrzenianie dymów, ich przenoszenie oraz usuwanie dymu i sadzy np. wskutek opadów w czasie przedostawania się dymów do atmosfery, ich rozprzestrzeniania oraz podczas ich ogrzewania. Jednym słowem, od rodzaju modelu komputerowego zależą w wysokim stopniu wyniki obliczeń. Po drugie: należy pamiętać, że obliczenia dotyczące zimy nuklearnej zależą od wielu uprzednich założeń i pojęć, a one nadal są dyskusyjne i niepewne. Oto kilka zagadnień, które są nadal przyczyną sporów:

1. Ile milionów ton pyłu dostanie się do atmosfery wskutek wybuchu o danej mocy?

2. Jaka będzie proporcja pyłu i sadzy?

3. Jaka część miast spłonie? Ile substancji łatwopalnych zmagazynowano w miastach i jak to wpłynie na pożary? Jak szybko będą płonąć magazyny substancji palnych?

4. Jaki będzie zakres wielkości cząstek sadzy i ich wzajemne proporcje? Jak szybko osiądą sadze? Ile z nich zostanie wypłukanych przez deszcze? Ile będzie opadów? Jakie będą skutki działania tych przeciwstawnych zjawisk, ponieważ sztormy przybrzeżne zwiększają opady, a inwersja temperatury będzie je zmniejszać?

5. Jakie będą cechy charakterystyczne masowych pożarów? Jak będzie przebiegał proces starzenia sadzy w atmosferze? Jakie optyczne właściwości pyłu i sadzy okażą się istotne?

6. Wreszcie najważniejsze pytanie: czy rozkład pyłu i sadzy będzie jednorodny? Czy powstaną "dziury" w obłokach pyłu i sadzy? Czy będą one ulegały przemieszczaniu i jak z tego powodu będzie się zmieniała temperatura pewnych obszarów Ziemi?

Nie są to jałowe spory na temat czynników fizycznych. Dowodem tego jest artykuł Coveya, Schneidera, Thompsona (Nature, March I, 1984). Użyli oni tych samych scenariuszy wojny nuklearnej co Sagan i TTAPS oraz wielu tych samych uprzednich założeń lecz trójwymiarowego modelu nieinterakcyjnego cyrkulacji globalnej w dziewięcio-warstwowej atmosferze, uwzględniającego skutki zmian wilgotności i zmian sezonowych, zmienności grubości pokrywy śnieżnej i lodowej oraz sporządzili komputerowe modele dla różnych pór roku. Wyniki tych badań różnią się istotnie w oceanie surowości zimy nuklearnej, czasu jej trwania i rozległości. Na przykład w przypadku wojny w lecie TTAPS przewiduje, że temperatura obniży się od -15°C do - 25°C na półkuli północnej. Natomiast Covey i współpracownicy przewidują spadki o 15 do 20°C do poziomu ok. 0°C. W przypadku wojny w czasie zimy Covey i współpracownicy przewidują spadki temperatury tylko o 5°C. Stwierdzili oni, że będą one krótkotrwałe (1 - 2 dni) ze względu na niejednorodność rozkładu pyłów i sadzy w atmosferze. Warstwa dymów będzie, ich zdaniem, cienka, a obniżki temperatury w strefie tropikalnej przejściowe i niezbyt rozległe.

Jasne jest, że wyniki te potwierdzają możliwość katastrofy klimatycznej i zasadnicze wnioski grupy Sagana i TTAPS oraz Aleksandrowa, lecz przedstawiają obraz różniący się znacznie od obrazu głębokiej ciemności i znacznych mrozów utrzymujących się przez

miesiące, rozległego i głębokiego zamarzania wód gruntowych oraz wyniszczenia zwierząt i ludzi zwłaszcza w strefie od 50 do 70° szerokości geograficznej północnej. Należy oczekiwać, że spory naukowe będą trwały nadal, a następcy obu grup naukowych będą starali się dowieść ostatecznie swoich racji.

4. Długotrwałe skutki biologiczne wojny jądrowej

Z ostatnich badań nad wojną jądrową na szeroką skalę z wymianą uderzeń jądrowych o sile od 5 000 do 10 000 megaton wynika, że wskutek podmuchu zginie 750 milionów ludzi. Łącznie skutki podmuchu działania termicznego i promieniowania spowodują zgon 1,1 miliarda osób oraz oprócz tego jeszcze ok. 1,1 miliarda innych uszkodzeń wymagających pomocy medycznej. W ten sposób 30 - 50% całej populacji ludzkiej może paść bezpośrednio ofiarą wojny jądrowej. Będą to zwłaszcza populacje zamieszkujące północną półkulę, przede wszystkim USA i byłe ZSRR, Europę i Japonię. Dane te przytacza się zazwyczaj dla zobrazowania możliwych konsekwencji katastrofy wskutek wojny jądrowej. Nowe badania wykazują jednak, że długotrwałe następstwa mogą być równie groźne jak skutki bezpośrednie. Chodzi o dalsze losy 2 - 3 miliardów ludzi, którzy nie zginą od razu, także z krajów, które znajdą się z dala od miejsca konfliktu jądrowego. Jak wyżej wspomniałam, do atmosfery dostaną się znaczne ilości pyłu i sadzy, które osłabią w bardzo znacznym stopniu promieniowanie słoneczne. Z wielu scenariuszy wojny jądrowej, zakładających konflikt o sile 100 do 10 000 megaton, wiadomo, że promieniowanie słoneczne ulegnie pochłonięciu i rozproszeniu, co spowoduje obniżenie temperatury i ciemności. W każdej z rozważanych sytuacji obliczenia komputerowe wskazują na to, że nastąpią poważne skutki biologiczne. Wszystkie scenariusze są możliwe z punktu widzenia technicznego a ich zastosowania nie wydają się nieprawdopodobne. Co więcej, prawdopodobieństwo wywołania globalnej wojny jądrowej jest powszechnie niedoceniane. Jednym z rozważanych scenariuszy jest sytuacja, w której dojdzie do wymiany uderzeń jądrowych o sile 1 000 megaton, w którym przyjmuje się prawdopodobne parametry właściwości aerozoli płynów i sadzy zakładając, że do 30% sadzy dostanie się dzięki burzom ogniowym do stratosfery. Na półkuli północnej, niezależnie od pory roku, natężenie światła zmniejszy się średnio do 1% natężenia światła dziennego w warunkach

normalnych. Temperatura na powierzchni ziemi w głąb kontynentów obniży się do - 40°C. Minie co najmniej rok nim temperatura i światło słoneczne osiągną normalną wartość. W okolicy centrum wybuchu nawet w południe nie będzie nic widać. Szacuje się, że około 30% ziem położonych w rejonach środkowych półkuli północne bezpośrednio po wybuchu będzie narażona na dawkę równą lub większą od 500 R z zewnętrznych źródeł gamma w opadzie radioaktywnym osiągając tym samym poziom średniej dawki śmiertelnej (LD_{50}) podanej człowiekowi zdrowemu w jednorazowej ekspozycji. W ciągu kolejnych dni i tygodni opad radioaktywny będzie źródłem narażenia na dodatkową dawkę około 100 R w połowie krajów leżących w środkowych szerokościach geograficznych półkuli północnej.

Ze skażeń wewnętrznych narażenie na promieniowanie osiągnie dawkę 100 R w narządach wewnętrznych (tarczycy, układzie kostnym, przewodzie pokarmowym, mleku kobiet karmiących). Po opadnięciu pyłów i dymów natężenie promieniowania ultrafioletowego, promieniowania słonecznego o długości fali 320 - 290 nm ulegnie kilkakrotnemu zwiększeniu na okres kilku lat wskutek zniszczenia warstwy ozonu przez powstałe w wybuchu tlenki azotu. Na półkuli południowej wybuch spowoduje obniżenie natężenia światła dziennego do poziomu poniżej 10% wartości zwykłej, obniżenie minimalnej temperatury na powierzchni ziemi poniżej - 18°C oraz przez lata roczne natężenia promieniowania ultrafioletowego o dziesiątki procent. Oczywiście możliwe jest mniejsze nasilenie ujemnych następstw wojny jądrowej, lecz nakreślane tutaj skutki klimatyczne mogą być również wynikiem uderzeń o mniejszej sile, np. kilkuset megaton, jeżeli celem uderzeń staną się miasta.

Jeżeli nawet nie wystąpią globalne następstwa uderzeń jądrowych, to skutki miejscowe będą ciężkie. Uważa się, że należy w pełni uświadomić decydentom możliwe konsekwencje scenariuszy i ich prawdopodobnych skutków odległych. W tych rozważaniach skupiono się na scenariuszu ciężkiego konfliktu jądrowego o sile 10 000 megaton. Ze względu na możliwe oddziaływania synergiczne, następstwa jakiegokolwiek scenariusza mogą być poważniejsze od przedstawionych poniżej.

5. Temperatura

Wpływ gwałtownego obniżenia temperatury będzie zależał od pory roku, w której nastąpił wybuch, czasu trwania spadku temperatury oraz granic tolerancji roślin. Szczególnie ważny jest gwałtowny spadek temperatury. Pszenica ozima znosi np. -15°C do -20°C, jeżeli przystosuje się uprzednio do niskich temperatur w czasie wegetacji zimowej, lecz ginie już przy temperaturze -5°C w okresie wzrostu letniego. Nawet rośliny alpejskie, które znoszą temperaturę - 50°C mogą ginąć w temperaturze -5°C do -10°C w ciągu lata. W omawianych scenariuszach przyjmuje się gwałtowny spadek temperatury, dlatego trudno przyjmować możliwość zahartowania roślin. Promieniowanie, skażenie powietrza, zmniejszenie natężenia światła słonecznego pogłębią jeszcze uszkodzenia wywołane obniżeniem temperatury. Chore i uszkodzone rośliny będą miały zmniejszone zdolności przystosowawcze. Wojna w zimie lub jesienią będzie miała mniejsze następstwa w klimacie umiarkowanym niż wiosną lub latem. Jedynie w strefie przybrzeżnej ocaleć może roślinność wskutek większej bezwładności cieplnej wody morskiej. W tej strefie jednak zmiany pogody będą niezwykle gwałtowniejsze ze względu na duże różnice temperatury między morzem a lądem.

6. Światło widzialne

Przerwanie fotosyntezy wskutek zmniejszenia natężenia światła słonecznego będzie miało konsekwencje kaskadowe oddziałujące na łańcuchy pokarmowe, co dotknie również człowieka. Produkcja żywności ulegnie zmniejszeniu proporcjonalnemu do osłabienia światła widzialnego nawet przy przyjęciu nierealnego założenia, że nie nastąpią inne uszkodzenia roślin. Znane są skutki wpływu braku światła na natężenie fotosyntezy, wzrostu roślin i wysokości plonów. Chociaż pojedyncze liście mogą osiągnąć nasycenie przy natężeniu światła słonecznego zmniejszonego o więcej niż połowę, całe rośliny, których liście są różnie ustawione w stosunku do źródła światła, nie ulegają nasyceniu światłem. Tak więc jeżeli 10% zmniejszenia natężenia światła może nie wywierać wpływu na fotosyntezę w pojedynczym

liściu, to może zaburzyć fotosyntezę w całej roślinie. Większość roślin nie będzie dalej rosnąć, jeżeli natężenie światła obniży się do 5% natężenia światła w warunkach normalnych procesów wegetacji.

7. Promieniowanie jonizujące

Narażenie na promieniowanie po wybuchach jądrowych będzie skutkiem bezpośredniego działania promieniowania gamma i neutronowego w czasie samego wybuchu oraz opadu radioaktywnego rozprzestrzeniającego się z falą podmuchu, jak i przenoszącego się później zgodnie z ruchami powietrza.Stopień uszkodzenia zależy od dawki i natężenia promieniowania. Skutki te są tym cięższe, im większe jest natężenie promieniowania i im większa objętość ciała ulegnie napromieniowaniu. Przyjmuje się, że średnia wartość dawki śmiertelnej u człowieka wynosi 350 - 500 R podanych na całe ciało w ciągu 48 godzin. Średnia dawka śmiertelna u większości ssaków i wielu roślin nie przekracza 1 000 R. Jeżeli natężenie promieniowania maleje, to wartość średniej dawki śmiertelnej rośnie. W strefie wybuchu oprócz promieniowania oddziaływać będzie podmuch oraz wysoka temperatura. Strefa śmiertelnego rażenia przez podmuch to obszar wyznaczony promieniowaniem, w którym ciśnienie podmuchu przekracza 5 funtów/cal^2, a strefa śmiertelnego rażenia cieplnego wyznaczona jest promieniem, w obrębie którego strumień cieplny przekroczy 10 kal/cal^2. Promień śmiertelnego rażenia przez promieniowanie jonizujące jest mniejszy od promienia rażenia przez podmuch i rażenia cieplnego. W jednym ze scenariuszy przyjmuje się wymianę uderzeń jądrowych o sile 5 742 megaton wskutek 11 600 wybuchów jądrowych, których strefy opadu nie będą się nakładały. W tym przypadku strefa zgodna z kierunkiem wiatru narażona na dawkę 1 000 R albo wyższą będzie miała powierzchnię 5 x 10^6 km^2. Ok. 85% wartości tej ekspozycji będzie występowało w ciągu 48 godzin. Ekspozycja ta będzie śmiertelna dla wszystkich narażonych ludzi, spowoduje wyginięcie czułych gatunków roślin, jak np. większość lasów iglastych, które przeważają na północnej półkuli.

Jeżeli uszkodzeniu ulegną również reaktory jądrowe, miejsca składowania odpadów radioaktywnych oraz rafinerie ropy naftowej, to poziom narażenia może być wyższy. Jeżeli przyjmie się, że około połowa powierzchni narażonej na promieniowanie opadu

radioaktywnego w zakresie 1 000 do 10 000 R będzie zalesiona, strefa rozległych zniszczeń lasów i roślin będzie miała powierzchnię 2,5 x 10^6 km^2. Stworzy to możliwość rozległych pożarów.

Lasy iglaste wyginą na powierzchni stanowiącej 2,5% całej powierzchni lądowej półkuli północnej. Możliwość, że aż 30% powierzchni ziemi położonych w środkowych szerokościach geograficznych będzie narażona na eksplozję 500 R promieniowania gamma podkreśla zakres i natężenie tego ryzyka. Chociaż dawka 500 R będzie miała mniejszy wpływ na większość roślin, to wywoła ona masową śmiertelność wśród ssaków a więc i ludzi. Ci, którzy ocaleją, niechronieni będą chorowali tygodniami i będą do końca życia zapadali na nowotwory. Ucierpi w ten sposób ponad 1 miliard ludzi.

8. Promieniowanie ultrafioletowe

W ciągu tygodni po wymianie uderzeń jądrowych pyły, sadza będą pochłaniać promieniowanie, które mogłoby się przedostać przez częściowo zniszczoną ozonosferę. Gdy po kilku miesiącach pył i sadza opadną, to skutki zniszczenia warstwy ozonu dadzą się odczuć na powierzchni. Na północnej półkuli strumień promieniowania ultrafioletowego ulegnie rocznie dwukrotnemu wzrostowi przy założeniu podstawowego scenariusza albo czterokrotnemu wzrostowi w przypadku wojny jądrowej z wymianą uderzeń o sile 10 000 megaton. Tak jak w przypadku nieuszkodzonej ozonosfery promieniowanie ultrafioletowe będzie miało większe natężenie na równiku niż w środkowych szerokościach geograficznych. Nawet znacznie mniejsze ubytki O_3 uważa się za niebezpieczne dla ekosystemów i dla człowieka. Jeżeli całe pasmo promieniowania ultrafioletowego zwiększy natężenie o 50% to ilość promieniowania wysokoenergetycznej części pasma w pobliżu 295 nm zwiększy się 50-krotnie. Ta część promieniowania ma szczególne znaczenie biologiczne, ponieważ ulega silnemu pochłanianiu przez kwasy nukleinowe, aminokwasy aromatyczne i wiązania białkowe. W dużych dawkach promieniowanie ultrafioletowe szkodzi roślinom, osłabia je i zmniejsza plony. Wytwarzanie planktonu morskiego w warstwach bliskich powierzchni ulega zaburzeniu już przy obecnym natężeniu promieniowania ultrafioletowego, można więc przypuszczać, że nawet mały wzrost natężenia promieniowania ultrafioletowego wywoła poważne uszkodzenia.

Do innych możliwości skutków promieniowania ultrafioletowego należy działanie immunosupresyjne u Homo sapiens i innych ssaków.

Wraz z oddziaływaniem promieniowania jonizującego i innych czynników szkodliwych, immunopresja prowadzić będzie do zwiększonej zapadalności na choroby. Do innych ujemnych wpływów należeć będzie wzrost czułości oddziaływania liści na czynniki szkodliwe, wzrośnie czułość bakterii na czynniki zaburzające odbudowę DNA, wystąpią zmiany w rogówce i soczewce prowadzące do ślepoty ludzi i innych ssaków naziemnych. Z tych względów skutki wzrostu natężenia promieniowania ultrafioletowego należeć mogą do najpoważniejszych, nie przewidywanych dotąd skutków wojny jądrowej.

9. Zaburzenia w atmosferze

Po wybuchu powierzchnia ziemi ulegnie skażeniu różnymi związkami, m. in. CO, O_3, NO_x, cyjankami, chlorkami winylu, dioxynami i furanami. Pojawią się kwaśne deszcze i opady smogu. Toksyny te mogą nie wywierać bezpośrednich szkodliwych wpływów na już uszkodzone rośliny, lecz w zależności od tego, jak długo będą się utrzymywały, mogą zaburzać proces odnowy. Przenoszone z wiatrem do innych ekosystemów, mogą oddziaływać na inne dotychczas nie zniszczone gatunki. Pożary na olbrzymich terenach w połączeniu z przerwaniem fotosyntezy zużywającej CO_2 spowodują wzrost stężenia w atmosferze. Nie jest rzeczą wykluczoną, że wojna na obu półkulach prowadząca do zniszczenia roślin biorących udział w fotosyntezie może spowodować gwałtowny wzrost CO_2 w atmosferze doprowadzający do długotrwałych zmian klimatu.

10. Uprawy rolne

Zapasy artykułów żywnościowych gromadzonych w okolicach dużych skupisk są małe, większość żywności dociera bezpośrednio z gospodarstw rolnych. Tylko zboża gromadzi się w większych ilościach, ale zwykle w większej odległości od miast. Po wojnie, która wybuchnie na wiosnę lub wczesnym latem, bieżące plony zostaną zniszczone. Natomiast zboża zasiane

przed wojną, która wybuchnie w jesieni lub zimą, ulegną zniszczeniu wskutek gwałtownego i znacznego obniżenia temperatury. Tak więc po wojnie jądrowej zapasy żywności na półkuli północnej ulegną zniszczeniu i skażeniu, pozostałe znajdują się w odległych magazynach i znacznie się zmniejszą. Niedobór żywności wystąpi nie tylko w krajach zniszczonych wojną, ale również w krajach odległych, importujących żywność, które będą musiały się oprzeć na miejscowym rolnictwie i naturalnych ekosystemach. Większość zbóż to rośliny jednoroczne wymagające znacznej ilości energii i nawozów sztucznych, dostatecznej ilości światła słonecznego, wody oraz zwalczania szkodników. Zapewnienie tych warunków nie będzie możliwe na ziemi po wymianie uderzeń jądrowych. Zapasy nasion zgromadzone w magazynach ulegną znacznemu zmniejszeniu, a przede wszystkim uszkodzeniu genetycznemu. Ziemie uprawne poddane nagłym zmianom klimatu, skażeniom promieniotwórczym, będą ulegać wyjałowieniu i erozji. Odbudowa produkcji rolnej będzie musiała następować przy braku energii, do używania której rolnicwo jest przystosowane. Poza okolicami przybrzeżnymi opady ulegną znacznemu zmniejszeniu. Ze względu na niedobór energii niemożliwe stanie się nawadnianie ziem uprawnych. Ponadto większość wody zamarznie w ciągu pierwszych miesięcy po wojnie, a temperatury będą wracały do normy powoli.

11. Ekosystemy strefy umiarkowanej

Dwa do trzech miliardów ludzi, którzy przeżyją bezpośrednie skutki wojny jądrowej, będzie musiało sięgnąć po żywność do naturalnych ekosystemów, gdyż rolnictwo ulegnie zagładzie. Ekosystemy te, oczywiście, ulegną bezpośredniemu zniszczeniu wskutek wojny. Będą na nie działały niskie temperatury, promieniowanie, ogień, burze i inne fizyczne czynniki, które zwiększą wrażliwość na choroby i szkodniki. Zbiory zmniejszą się gwałtownie wskutek ciemności, promieniowania ultrafioletowego, smogu, promieniowania jonizującego i innych uszkodzeń roślin. W tym czasie zginą kręgowce, jeżeli nie bezpośrednio od podmuchu i promieniowania jonizującego, to albo zamarzną, albo będą żyły i głodowały w ciemnym świecie. Pozostali przy życiu ludzie ulegną rozproszeniu, będą ciężko chorzy i w miarę upływu czasu doprowadzą do dodatkowego wyniszczenia gatunku. Naturalne ekosystemy dostarczają cywilizowanemu światu oprócz pożywienia i schronienia wielu podstawowych, koniecznych

do życia elementów. Są to: regulacja składu atmosfery, regulacja klimatu i pogody, regulacja obiegu wody w przyrodzie, tworzenie i ochrona ziemi uprawnej, rozkład opadów oraz produkcja żywności. Z punktu widzenia człowieka najważniejszą rolą ekosystemów jest bezpośrednie zapewnienie żywności oraz utrzymanie znacznej ilości gatunków, które są podstawą cywilizacji ludzkiej. Przyspieszona utrata tych zapasów genetycznych wskutek ich wyginięcia będzie poważną konsekwencją wojny jądrowej. Szerzenie się gwałtownych pożarów w krajach strefy umiarkowanej, ich nasilenie i rozmieszczenie będą zależne od scenariusza wojny i pory roku. Poprzez wzrost temperatury powierzchniowych warstw ziemi uprawnej może dojść do zniszczenia zasiewów.

Do innych szkodliwych zjawisk należy zaliczyć wolniejszą detoksykację powietrza i wody w wyniku uszkodzenia roślin, zwolnienie wydalania wody przez rośliny do atmosfery, uszkodzenie powierzchniowych warstw ziemi przyczyniające się do przyspieszenia erozji oraz powstawanie burz pyłowych. Rewegetacja może przypominać roślinność rozwijającą się po pożarze. Wpływ promieniowania, smogu, erozji, burz pyłowych, deszczów toksycznych wystąpią wśród zimna i ciemności, co utrudni odtworzenie ekosystemów. Wielkość skutków w ekosystemach będzie krótkotrwała, niemniej jednak niektóre zmiany strukturalne i funkcjonalne mogą być długotrwałe i okazać się nieodwracalne.

12. Tropikalne ekosystemy ziemne

Skutki będą zależały od umiejscowienia celów, występowania pożarów, przerwania granicy między troposferą a stratosferą oraz nasilenia mieszania się warstw powietrza nad oboma półkulami, co będzie uwarunkowane wysokością wybuchu. Rozprzestrzenianie się gęstych obłoków pyłu i sadzy, obniżanie temperatury do granic zera na okolicę podzwrotnikową półkuli północnej jest wysoce prawdopodobne, a na półkulę południową możliwe. Nasiona roślin tropikalnych żyją znacznie krócej niż nasiona strefy umiarkowanej. Ciemność i zimno, które pojawią się w tropikach mogą doprowadzić do zupełnego wyginięcia lasów, co z kolei

może spowodować wyginięcie większości gatunków roślin, zwierząt i mikroorganizmów na ziemi. Skutki te będą miały znaczną doniosłość dla populacji ludzkiej.

13. Ekosystemy wodne

Organizmy wodne są chronione cieplną bezwładnością wody przed gwałtownymi wahaniami temperatury powietrza. Z powodu zmiany klimatu wiele zbiorników wody świeżej zamarznie częściowo lub całkowicie. Podstawowe ogniwa łańcucha pokarmowego organizmów w wodzie morskiej są niezwykle czułe na niskie natężenie światła, wyższe organizmy podlegają miejscowym i opóźnionym skutkom. Nawet małe zmiany natężenia promieniowania ultrafioletowego wywrą głęboki wpływ na budowę morskiego łańcucha pokarmowego. Przypuszcza się niekiedy, że brzegi oceanu będą głównym źródłem utrzymania tych, którzy przeżyją wojnę jądrową, jednak łączne skutki zapanowania ciemności, wzrostu ilości promieniowania ultrafioletowego, przybrzeżne sztormy, zniszczenie floty podczas wojny, znaczne stężenie izotopów promieniotwórczych w płytkich systemach wodnych zdają się podważać ten pogląd.

14. Wnioski

Te predykcje zmian klimatycznych są dobrze uzasadnione; ilościowo rzecz biorąc te same rodzaje konsekwencji wynikną z ograniczonej wojny o sile 500 megaton lub mniejszej, której celem będą miasta czy też wojny na szerszą skalę z wymianą uderzeń o sile 10 000 megaton.

Nie wszystkie ekosystemy ulegną ciężkim uszkodzeniom. Ci, którzy ocaleją, będą narażeni na krańcowe zimno, brak wody i żywności oraz paliw, wysoki poziom promieniowania, ciężkie stresy psychologiczne, przy czym wszystkie te czynniki będą działały w zmroku lub ciemności. Możliwe, że ciemności i zimno zapanują na całej planecie, co może spowodować ciężkie zaburzenia życia na ziemi, które zmienią ją i zubożą. Większość gatunków roślin i zwierząt tropikalnych zginie, większość kręgowców ziemnych żyjących w strefie umiarkowanej półkuli północnej oraz liczne rośliny, a także organizmy żyjące w wodach

słodkich i morskich przestaną także istnieć. Wydaje się jednak prawdopodobne, że nawet w tych warunkach gatunek Homo sapiens wyginie natychmiast. Pozostaje natomiast kwestią otwartą, czy ktokolwiek przetrwa wśród znacznie zmienionych warunków biologicznych, w nowym klimacie przy wysokim poziomie promieniowania, krańcowo zniszczonym rolnictwie, ekonomice i warunkach socjalnych, wśród niezwykłych trudności i stresów psychologicznych. Jest jasne, że wyłącznie skutki wojny termojądrowej na szeroką skalę w ekosystemach mogą wystarczyć do zniszczenia cywilizacji przynajmniej na półkuli północnej. W połączeniu z bezpośrednimi stratami ponad jednego miliarda ludzi, skutki bezpośrednie i długoterminowe doprowadzą do wyniszczenia gatunku ludzkiego na północnej półkuli. Trzeba też pamiętać, że rozważane tu scenariusze nie są najdrastyczniejszymi wariantami wojny jądrowej, jakie można sobie wyobrazić przy istnieniu obecnych arsenałów broni jądrowej. W jakiejkolwiek wymianie uderzeń jądrowych na znaczną skalę globalne ich skutki w środowisku zniszczą większość gatunków roślin i zwierząt na ziemi. W tej sytuacji możliwość całkowitego wyginięcia gatunku Homo sapiens nie może zostać wykluczona.

15. Rola lekarzy

Co więc lekarze mogą powiedzieć o zimie nuklearnej, co mogłoby być uznane za wiarygodne i istotne?

Trzeba było prawie 40 lat od Hiroszimy i Nagasaki, aby zwrócić uwagę na globalne skutki wojny nuklearnej w atmosferze. Nadaje to zjawisku wojny nuklearnej nowy wymiar, który jest wynikiem niepohamowanego wzrostu arsenałów i ich globalnej siły destrukcyjnej. Nie wiadomo, jakie dalsze niespodzianki nas oczekują, jakie inne niszczące skutki wojny jądrowej są dotychczas nie opisane i nieznane.

Po wtóre - nie ma chyba wątpliwości, że obok działania ciepła, fali termicznej i promieniowania na półkuli północnej, między 50 a 70° szerokości północnej po wojnie nuklearnej zapanuje zima. Chociaż szczegóły dotyczące natężenia i czasu trwania zimy pozostają nadal niejasne, lekarze muszą wskazywać na skutki narażenia na zmienione warunki klimatyczne, głód, ciała toksyczne, na biologiczne i psychologiczne następstwa długotrwałej ciemności oraz skutki zniszczenia rolnictwa dla ludności obu półkul.

Po trzecie - trzeba uwzględniać synergistyczne działanie zniszczeń systemów fizycznych, biologicznych i społecznych oraz konsekwencji jednoczesnego, głębokiego zniszczenia biologicznego, zniszczenia infrastruktury fizycznej, cywilizacji i systemów opieki socjalnej oraz środowiska.

Po czwarte - trzeba przyjąć, że istotne obszary na półkuli południowej ulegną zniszczeniu, a wraz z nimi czuła na zmiany temperatury flora i fauna. Odległych konsekwencji tych procesów nie można przewidzieć. Ci, którzy mówią o zycięstwie, przeżyciu, a nawet sankcjonują wojnę nuklearną, prowadzą w sposób pełny ignorancji i arogancji hazardową grę z całym łańcuchem życia na ziemi, jego delikatną siecią począwszy od planktonu aż do człowieka.

Po piąte - należy wziąć pod uwagę, że kraje rozwijające się teraz są znacznie bardziej zainteresowane w zakończeniu wyścigu zbrojeń, uniknięciu konfrontacji wielkich mocarstw i zmniejszeniu ryzyka wojny nuklearnej. Niektóre z nich będą w razie wojny pod bezpośrednim wpływem zmian w atmosferze. Inne poniosą wtórne konsekwencje zaburzeń w środowisku oraz skutków społecznych wywołanych przerwaniem produkcji żywności oraz jej transportu. Można oczekiwać zjawiska głodu w odległości tysięcy mil od miejsca wybuchu nuklearnego. Posłaniem, które wynika z ujawnienia groźby zimy nuklearnej jest to, jesteśmy jedną ludzką rodziną, żyjącą w jednym, niepodzielnym domu - naszej planecie Ziemi. Nie może być pocieszenia w poglądzie, że gdy supermocarstwa zniszczą siebie i większość północnej półkuli, to potulne i biedne narody odziedziczą ziemię, ponieważ wojna nuklearna zniszczy fundamentalne dziedzictwo, które jest wspólną własnością wszystkich ludzi.

Czego nie można obecnie na pewno i wiarygodnie powiedzieć o zimie nuklearnej?

1. Według obecnego stanu wiedzy byłoby nierozważne przyjęcie poglądu, że głównym jej ryzykiem jest całkowite wyniszczenie gatunku ludzkiego. Opinia uczonych stwierdza, że jest to ryzyko bardzo odległe.

2. W miarę jak wzrasta nasza wiedza, powinno się unikać pogrążania w bezmyślnych i niekończących sporach dotyczących szczegółów technicznych spadku temperatury, opadania różnych rodzajów cząstek i wyboru modeli komputerowych. Skupianie się na tych szczegółach

jest stwarzaniem analogii do dyskusji o sposobach liczenia rakiet, określania liczby głowic, ich zasięgach i dokładności rażenia - przy jednoczesnym odwróceniu uwagi od podstawowego faktu, że każda wojna nuklearna będzie katastrofą bez precedensu w dziejach naszego gatunku.

Zima nuklearna - globalne skutki atmosferyczne wojny jądrowej, to dodatkowy powód do przeciwstawienia się wojnie jądrowej. Nie potrzebujemy argumentu o zimie nuklearnej, aby uzmysłowić sobie i głosić, że wojna nuklearna to rzecz straszliwa. Przeciwnie, zima nuklearna potwierdza i rozszerza to, co lekarze mówią od dawna o fali uderzeniowej i obrażeniach, rażeniu termicznym i oparzeniach, promieniowaniu i chorobach a przede wszystkim o zniszczeniu tej delikatnej społecznej więzi, która czyni z nas ludzi. Lewis Thomas opisał Ziemię i życie, które się na niej rozwinęło, jako unikalny system, cienką, niesłychanie bogatą, zadziwiająco piękną sieć życia rozpostartą na gorącym, okrągłym kamieniu obracającym się w Słońcu. Wobec piękna tego porównania, trzeba sobie zdać sprawę, że już teraz żyjemy w atmosferze tej zimy nuklearnej. Zima nuklearna jest chłodem ludzkiego ducha, smutną, konkretną gotowością do planowego samozniszczenia, zadawania bólu i śmierci, zanieczyszczenia i gwałtu, rozerwania sieci życia w zbiorowym szaleństwie.

Tabela 1

Niektóre przypadki scenariuszy wybuchu nuklearnego

Przypadki	Całkowita ilość zrzuconego mat. wybuchowego (MT)	Wybuchy na powierzchni ziemi	Wybuchy w miastach lub w zakładach przemysłowych	Całkowita ilość wybuchów
Linia podstawowowa	5 000	57	20	10 400
Linia uderzenia falą powietrzną	5 000	10	33	22 500
Po wybuchu 300 MT na półkulę południową	300	0	50	300
100 MT - atak na miasta	100	0	100	1 000
Po wybuchu 25 000 MT	25 000	72	10	28 300

Literatura

1. Bergstrom S., Effects of nuclear war on health and health services, WHO.
2. Hampson J., Nature, London 1986, str. 250.
3. Physics Today, February 1984.
4. Polski Przegląd Radiologii, 1984, t. 48.
5. Polski Przegląd Radiologii, 1986, t. 50.
6. Science, December 1983.