26

# AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
ZAKŁAD EKOLOGII

## DEGRADACJA I DEWASTACJA ŚRODOWISKA NATURALNEGO JAKO SKUTEK DZIAŁAŃ ZBROJNYCH

Praca studyjna

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/2861
05-002861-002-0

WARSZAWA

69230

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
ZAKŁAD EKOLOGII

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 69230
Akademii Obrony Narodowej

# DEGRADACJA I DEWASTACJA ŚRODOWISKA NATURALNEGO JAKO SKUTEK DZIAŁAŃ ZBROJNYCH

Praca studyjna

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Nr ewid.
IV
Biblioteka Zbiorów Jawnych - Akademii ON

WARSZAWA 1995

Pracę studyjną nt.
"Degradacja i dewastacja środowiska
naturalnego jako skutek działań zbrojnych"
opracował płk dr hab. Ireneusz NOWAK
przy współudziale płk dr Józefa ŁABĘDZKIEGO

# SPIS TREŚCI

Str.

1. WPROWADZENIE ..... 5
1.1. Geneza tematu oraz cel i zakres badań ..... 5
1.2. Definicje zasadniczych pojęć wykorzystywanych w pracy ..... 11
1.3. Hipotezy robocze ..... 20
1.4. Metody badawcze ..... 21
1.5. Przegląd literatury tematycznej ..... 23
2. DEGRADACJA I DEWASTACJA ŚRODOWISKA JAKO SKUTEK UŻYCIA BRONI JĄDROWEJ I AWARII REAKTORÓW JĄDROWYCH ..... 28
2.1. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek oddziaływania fali uderzeniowej ..... 30
2.2. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek oddziaływania promieniowania cieplnego ..... 35
2.3. Degradacja i dewastacja środowiska jako rezultat skażenia środowiska nuklidami promieniotwórczymi ..... 39
3. DEGRADACJA I DEWASTACJA ŚRODOWISKA JAKO SKUTEK UŻYCIA BRONI CHEMICZNEJ I UWOLNIENIA TOKSYCZNYCH ŚRODKÓW PRZEMYSŁOWYCH ..... 91
3.1. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia bojowych środków trujących ..... 94
3.2. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek uwolnienia toksycznych środków przemysłowych ..... 103
3.3. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia środków chemicznych niszczących roślinność ..... 118
4. DEGRADACJA I DEWASTACJA ŚRODOWISKA JAKO SKUTEK UŻYCIA BRONI GEOFIZYCZNEJ ..... 141
4.1. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia broni atmosferycznej ..... 143
4.2. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia broni hydrosferycznej ..... 156
4.3. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia broni litosferycznej ..... 171
5. PODSUMOWANIE ..... 178
SPIS LITERATURY ..... 185

# 1. WPROWADZENIE

## 1.1. Geneza tematu oraz cel i zakres badań

Ekologia jest dziś przedmiotem zainteresowania szerokich kręgów społeczeństwa, przy czym wynika ono z uświadomienia zagrożeń jakie człowiek i jego działalność stwarzają dla środowiska, w którym ludzie żyją. Zagrożenia te w wielu miejscach świata są bardzo poważne w związku z degradacją i dewastacją środowiska naturalnego oraz powstaniem rejonów klęski ekologicznej. Kraje bogate, dysponujące odpowiednimi funduszami, realizują szeroko zakrojony program ochrony środowiska. Zajmują się tym również liczne organizacje, działające w skali międzynarodowej i krajowej. W naszym kraju problemy zagrożeń dla środowiska naturalnego oraz ochrony środowiska znajdują się w centrum zainteresowania władz i różnego rodzaju organizacji społecznych poczynając od lat osiemdziesiątych. Problemy zagrożeń i ochrony środowiska są przedmiotem częstych dyskusji naukowych w różnych środowiskach, w tym coraz częściej również wojskowych. Rozważania dotyczące wyżej wymienionych problemów znajdują szerokie odzwierciedlenie w publicystyce cywilnej i wojskowej. W wojsku znajdują one odzwierciedlenie w dyrektywnych dokumentach kierownictwa sił zbrojnych i praktycznie podejmowanych krokach. Jednym z nich było utworzenie Wydziału Ekologii w Zarządzie Infrastruktury Wojskowej Sztabu Generalnego. Ze zrozumiałych względów w wojsku najczęściej rozpatrywane są problemy ekologiczne wynikające z pokojowej działalności sił zbrojnych. W mniejszym zakresie i to przede wszystkim w państwach zachodnich rozpatrywane są problemy zagrożeń i ochrony środowiska wynikające z działań zbrojnych.

Działania zbrojne, od zarania dziejów, zawsze były związane z oddziaływaniem na środowisko. W wielu przypadkach pożary

i zniszczenia były czynnikiem decydującym o ostatecznym wyniku wojny. Historia wojen dostarcza licznych przykładów potwierdzających tę tezę. W rezultacie wojen, prowadzonych od czasów starożytnych aż do XIX wieku włącznie, zniszczenia miały jednak charakter lokalny. Ograniczały się do tras przemarszu wojsk oraz rejonów, w których staczano bitwy. Dewastacja środowiska miała więc charakter ograniczony, chociaż często obejmowała setki i tysiące wsi i miast i negatywnie oddziaływała na gospodarkę poszczególnych państw a nawet kontynentów.

Sytuacja zmieniła się radykalnie w wieku XX w wyniku pojawienia się koalicji obejmujących dziesiątki państw, wielomilionowych armii oraz nowych generacji środków rażenia. Utworzenie przez koalicje wielomilionowych armii umożliwiało prowadzenie działań bojowych na ogromnych obszarach - w skali kontynentu lub nawet w skali światowej. Nowe generacje środków rażenia wprowadzane sukcesywnie do wyposażenia wojsk, dzięki kolejnym fazom rewolucji naukowo - technicznej, stwarzały możliwość rażenia ludzi i niszczenia środowiska w skali masowej, zarówno na froncie jak i na głębokim zapleczu. W związku z tym, że wojny przybrały charakter wszechogarniający, dotyczący wszystkich dziedzin działalności ludzkiej, oddziaływanie na środowisko w celu jego zniszczenia stało się jednym z celów działań zbrojnych. Poprzez zniszczenie środowiska można bowiem zmniejszyć lub nawet uniemożliwić produkcję przemysłową i rolną dla potrzeb wojny oraz utrudnić życie ludności cywilnej i tym samym obniżyć jej wolę prowadzenia walki.

Druga wojna światowa oraz konflikty lokalne, które miały miejsce po niej, a szczególnie wojna koreańska, wietnamska i bliskowschodnie dostarczają wielu przykładów zniszczenia środowiska w wyniku bombardowań i ostrzału miast oraz celowego oddziaływania na

środowisko przy pomocy broni konwencjonalnej, jądrowej i chemicznej.

Broń masowego rażenia w tych wojnach była używana w ograniczonym zakresie. Bomby jądrowe zrzucono jedynie na Hiroszimę i Nagasaki, zaś broń chemiczną użyto w Wietnamie, ograniczając się do zastosowania środków niszczących roślinność oraz środków drażniących. Użycie tych rodzajów broni pokazało, że skutki oddziaływania na środowisko są równie poważne jak skutki porażenia ludzi.

Arsenały wojskowe, mimo zawartych porozumień i konwencji, wciąż zapełnione są amunicją jadrową i chemiczną. Broń ta użyta w skali masowej może nie tylko zabić dziesiątki i setki milionów ludzi, ale również zniszczyć środowisko w takim stopniu, że życie ludzi na planecie Ziemia, według opinii zawartych w wielu źródłach, nie będzie możliwe.

W tajemnicy prowadzone są badania nad nowym rodzajem broni - bronią geofizyczną. Broń ta, powstająca dziś w laboratoriach i na poligonach, ma być przeznaczona przede wszystkim do oddziaływania na środowisko naturalne. Chodzi o sterowanie procesami zachodzącymi w atmosferze (broń atmosferyczna), w hydrosferze (broń hydrosferyczna) i w litosferze (broń litosferyczna), oraz o oddziaływanie na klimat (broń klimatyczna). Można się spodziewać, że wymienione rodzaje broni, doskonalone wraz z rozwojem nauki i techniki będą w przyszłości zdolne do spowodowania degradacji i dewastacji środowiska naturalnego.

Zniszczenie środowiska naturalnego może również być rezultatem uzycia broni konwencjonalnej. Świadczą o tym chociażby przykłady, których dostarczyły druga wojna światowa i wojny lokalne prowadzone po 1945 roku.

Degradacja i dewastacja środowiska naturalnego w ewentualnych przyszłych wojnach może przybrać rozmiary dotychczas nie notowane. Rejony katastrofy ekologicznej mogą objąć ogromne obszary i dotyczyć wielu państw zarówno zaangażowanych w konflikt zbrojny, jak i neutralnych.

W tej sytuacji problemy oddziaływania rozpatrywanych środków rażenia na środowisko naturalne muszą być rozpatrywane przez decydentów użycia broni jądrowej, chemicznej i geofizycznej. Muszą oni zdawać sobie sprawę nie tylko ze skutków bezpośrednich użycia tych rodzajów broni, ale również ze skutków pośrednich, którymi będzie degradacja i dewastacja środowiska.

Problemy degradacji i dewastacji środowiska naturalnego jako rezultat działań zbrojnych nie był dotychczas, przynajmniej w naszym kraju, obiektem naukowych rozważań. Wszystkich zawsze bardziej interesowały bezpośrednie skutki użycia środków rażenia, w postaci porażenia ludzi i sprzętu bojowego, aniżeli skutki pośrednie, w postaci zniszczenia środowiska naturalnego.

W związku z tym celem badań prowadzonych w ramach tematu pracy jest ustalenie skali i skutków ewentualnej degradacji i dewastacji środowiska naturalnego pod wpływem oddziaływania na nie nowoczesnych środków rażenia w toku działań zbrojnych.

Przedmiotem badań są procesy degradacji i dewastacji środowiska naturalnego zachodzące pod wpływem oddziaływania na nie czynników rażenia broni jądrowej, chemicznej i geofizycznej.

Aby osiągnąć cel badań autorzy zamierzają uzyskać odpowiedzi na dwa pytania szczegółowe:

1. Jakie zmiany mogą mieć miejsce w środowisku naturalnym po użyciu broni jądrowej, chemicznej i geofizycznej oraz które z nich prowadzą do degradacji i dewastacji środowiska naturalnego ?

2. Jakie mogą być skutki degradacji i dewastacji środowiska naturalnego powstałe pod wpływem oddziaływania na nie nowoczesnych rodzajów broni dla flory i fauny oraz dla człowieka ?

Autorzy swoje rozważania zamierzają ograniczyć do ustalenia zmian w środowisku, które mogą mieć miejsce w przypadku użycia broni jądrowej, chemicznej i geofizycznej i skutków jakie degradacja i dewastacja środowiska wynikła z oddziaływania w/w rodzajów broni, wywrze na poszczególne ekosystemy. W niniejszej pracy, ze względu na jej ograniczone ramy, pominięte będą problemy wynikające z oddziaływania na środowisko broni konwencjonalnych.

Sformułowanemu celowi badań i wynikającym z niego pytaniom (problemom) szczegółowym podporządkowany został układ pracy. Praca studyjna składa się z wprowadzenia, trzech rozdziałów oraz części końcowej, zawierającej uogólnienia i wnioski końcowe oraz bibliografię i załączniki.

We wprowadzeniu przedstawiono uzasadnienie tematyki pracy, jej cel, przedmiot i zakres, definicje oraz hipotezy robocze, scharakteryzowano i oceniono metody badawcze oraz literaturę wykorzystaną w procesie badań.

W rozdziale 1 przedstawiono potencjalne możliwości degradacji i dewastacji środowiska naturalnego w przypadku użycia w działaniach zbrojnych broni jądrowej oraz spowodowania awarii reaktorów jądrowych. Wyeksponowano problemy degradacji i dewastacji środowiska naturalnego jako skutek oddziaływania na nie poszczególnych czynników rażenia broni jądrowej - fali uderzeniowej, promieniowania cieplnego oraz skażeń promieniotwórczych.

W rozdziale 2 przedstawiono potencjalne możliwości degradacji i dewastacji środowiska naturalnego w przypadku użycia w działaniach zbrojnych broni chemicznej oraz uwolnienia do środowiska toksycz-

nych środków przemysłowych. Wyeksponowano problemy degradacji i dewastacji środowiska naturalnego jako rezultaty użycia bojowych środków trujących i środków chemicznych niszczących roślinność oraz uwolnienia do środowiska toksycznych środków przemysłowych.

W rozdziale 3 przedstawiono potencjalne możliwości degradacji i dewastacji środowiska naturalnego w przypadku zastosowania w toku wojny broni geofizycznej. Wyeksponowano problemy degradacji i dewastacji środowiska jako skutek użycia broni atmosferycznej, hydrosferycznej, litosferycznej i klimatycznej.

W podsumowaniu zawarto uogólnienia i wnioski końcowe, mające charakter sprawozdania naukowego z uzyskanych rezultatów badań. Zawarto w nim także indeks problemów wymagających dalszych badań.

## 1.2. Definicje zasadniczych pojęć wykorzystywanych w pracy

Z przyjętych założeń wynika, że w pracy studyjnej będą wykorzystywane określone pojęcia odnoszące się do środowiska naturalnego i zmian, które mogą w nim nastąpić pod wpływem oddziaływania broni jądrowej, chemicznej i geofizycznej w toku walki zbrojnej. Dla jednoznacznego rozumienia używanych w pracy pojęć sprecyzowano ich definicje. Pierwsza grupa pojęć odnosi się do środowiska naturalnego i zmian, jakie mogą w nim mieć miejsce. Druga grupa pojęć odnosi się do poszczególnych rodzajów broni oddziaływujących na środowisko.

W ramach pojęć odnoszących się do pierwszej grupy podano definicje takich terminów jak: środowisko, środowisko naturalne, degradacja i dewastacja środowiska, zanieczyszczenia środowiska, uszkodzenie środowiska, zatrucie środowiska, czynnik ekologiczny zanieczyszczający środowisko, katastrofa ekologiczna, tolerancja ekologiczna, stan środowiska, populacja, ekosystem, biocenoza, czynnik ekologiczny[1)].

Środowisko - ogół elementów przyrodniczych, znajdujących się zarówno w systemie naturalnym, jak też przekształconych w wyniku działalności człowieka. Obejmuje w szczególności powierzchnię ziemi, kopaliny, wody, powietrze atmosferyczne, świat roślinny i zwierzęcy, a także krajobraz.

Na podstawie tej definicji można wyróżnić środowisko naturalne i przekształcone, aczkolwiek kryterium podziału nie jest oczywiste. Według niektórych koncepcji, do środowiska można zaliczyć przynajmniej część środowiska pracy oraz dóbr kultury.

---

1. Przy definiowaniu wykorzystano treści zawarte w materiale pt. "Definicje pojęć z zakresu ochrony środowiska", wyd. GUS, Warszawa 1993.

Termin "środowisko" nie jest terminem przyrodniczym, albowiem w ekologii "środowisko" (biotyp) to tylko miejsce, w którym żyją organizmy.

Środowisko naturalne - ogół elementów naturalnych, tj. przyrodniczych w większym lub mniejszym stopniu przetworzonych przez gospodarczą działalność człowieka, składający się w danym miejscu i czasie na warunki życia ludzkiego. Terminy "środowisko" i "środowisko naturalne" oznaczają w istocie to samo.

W rozumieniu obowiązującej u nas ustawy środowiskiem jest, obok środowiska naturalnego, także część środowiska stworzonego przez człowieka, w szczególności część środowiska pracy i część dóbr kultury.

Degradacja i dewastacja środowiska to pojęcia odnoszące się do stanu zniszczenia środowiska.

Degradacja to pogorszenie stanu środowiska przyrodniczego przez eliminację elementów lub uszkodzenie struktur systemów przyrodniczych. Polega na zmniejszeniu aktywności biologicznej, zubożeniu składu gatunkowego, pogorszeniu jakości elementów. Najczęściej przyczyną degradacji środowiska bywają silne lokalne przekształcenia i naruszenia poszczególnych elementów środowiska, w wyniku gospodarki człowieka, ale także zmiany zachodzące w skali całej biosfery, które także są konsekwencją aktywności ludzkiej.

Dewastacja środowiska to zniszczenie środowiska przyrodniczego na określonym terenie. Polega na załamaniu homeostazy układu wskutek oddziaływania czynnika lub kompleksu czynników o nasileniu przekraczającym granice jego tolerancji. Skutkiem są nieodwracalne zmiany w strukturze i funkcjonowaniu układów przyrodniczych. Tereny zdewastowane wymagają rekultywacji i ponownego zagospo-

darowania. Skrajnym przykładem dewastacji środowiska może być katastrofa ekologiczna.

Katastrofa ekologiczna - załamanie równowagi dynamicznej ekosystemu środowiska przyrodniczego, uszkodzenie lub zniszczenie jego struktury bądź funkcji w takim zakresie, że uniemożliwione jest działanie naturalnych mechanizmów (regeneracja, samooczyszczenie, kompensacja ekologiczna).

Może być wywołana przez czynniki naturalne o bardzo dużym nasileniu, przekraczającym granice tolerancji układu, np. gwałtowne wysuszenie lub nawodnienie terenu, intoksykację całych ekosystemów lub ich istotnych dla zachowania równowagi elementów.

Czynnik zanieczyszczający środowisko - substancja lub rodzaj energii pochodzenia naturalnego lub antropogenicznego, przy określonych koncentracjach wywołujący negatywne zmiany w jakości środowiska człowieka (czynników ekologicznych).

Zanieczyszczenie środowiska - wprowadzenie do środowiska (powietrza atmosferycznego, wody, ziemi) substancji stałych, ciekłych lub gazowych albo energii w takich ilościach lub w takim składzie, że może to ujemnie wpłynąć na zdrowie człowieka, klimat, przyrodę żywą, glebę, wodę lub spowodować wtórne zmiany w środowisku. Niekiedy przez zanieczyszczenie rozumie się przekroczenie konwencjonalnych norm stanu środowiska lub dopuszczalnych wskaźników emisji zanieczyszczeń.

Uszkodzenie środowiska - każda niekorzystna zmiana środowiska spowodowana zarówno przez zanieczyszczenie środowiska jak i usunięcie niektórych jego elementów, w tym zmiany morfologii oraz walorów krajobrazowych. Miarą uszkodzeń środowiska są zmiany w funkcjonowaniu środowiska, atrofia lub hipertrofia jego elementów i ograniczenie możliwości funkcjonowania mechanizmów regulujących.

Zatrucia środowiskowe - choroby spowodowane wniknięciem do organizmu przez przewód pokarmowy, układ oddechowy, skórę lub innymi drogami trucizn lub innych substancji szkodliwych: chemicznych, biologicznych, mikroorganizmów żywych lub toksyn bakteryjnych. Rozróżnia się zatrucia spowodowane przenikaniem do organizmu zanieczyszczeń powietrza, zatrucia przemysłowe i pokarmowe. Ze względu na przebieg choroby rozróżnia się:

- zatrucia ostre - występują szybko (godziny, dzień) po jednorazowym wniknięciu substancji. Charakteryzują się objawami gwałtownymi oraz silnie wyrażonymi;
- zatrucia podostre - o łagodniejszym przebiegu i lepszym rokowaniu jak zatrucia ostre;
- zatrucia przewlekłe - choroba o skutkach odległych, zazwyczaj bezobjawowa, wskutek wielokrotnego, częstego wnikania substancji szkodliwych w dawkach jednorazowych tak małych, że nie powodują zatruć ostrych lub podostrych.

Ekologia - nauka przyrodnicza, badająca zależności między organizmami lub zespołami organizmów oraz między nimi a ich środowiskiem życia. W obrębie ekologii wyróżnia się autekologię i synekologię. Autekologia to ekologia pojedynczych organizmów, zajmująca się wpływem czynników ekologicznych na organizmy, dział silnie związany z fizjologią i etologią. Synekologia - ekologia zbiorowości. Obejmuje ekologię populacyjną, która rozpatruje strukturę i dynamikę ilościową populacji i biocenologię, której przedmiotem jest dynamika i struktura biocenoz na tle ich biotypów. W obrębie biocenologii wyróżnia się fitosocjologię - naukę o zbiorowościach roślinnych i zoocenologię - naukę o zespołach zwierzęcych. Obie są wspierane nauką o siedlisku, w której ekologia zbliża się do nauk pokrewnych jak klimatologia czy gleboznawstwo.

Ze względu na charakter siedliska i przedmiot badań wyróżnia się: ekologię organizmów wodnych, ekologię organizmów lądowych i hydrobiologię.

Ekologia łączy wszystkie dziedziny biologii w syntetyczną całość. Jest podstawą zrozumienia zjawisk i procesów zachodzących wśród organizmów. Powstało szereg nauk z pogranicza ekologii, jak np. genetyka ekologiczna, geografia ekologiczna, parazytologia środowiskowa.

Praktycznym znaczeniem badań ekologicznych jest stosowanie ich wyników w tworzeniu nowoczesnych zasad racjonalnej gospodarki i ochrony naturalnych zasobów przyrody. Ekologia wskazuje drogi zabezpieczenia się przed ujemnymi skutkami eksploatacji dóbr naturalnych i całej gospodarki. Ekologia ma również zastosowanie w rolnictwie i leśnictwie, stanowiąc podstawę nieomal wszystkich stosowanych przez nie zabiegów, np, prognozowanie pojawiania się szkodników pól uprawnych i lasów oraz walki biologicznej z tymi szkodnikami.

Ekologia człowieka - dział ekologii traktujący o wzajemnych uwarunkowaniach i zależnościach populacji ludzkich i otaczającego środowiska przyrodniczego i zurbanizowanego (antropogenncgo). Bada wpływ - na zdrowie ludzi - zanieczyszczeń występującym w powietrzu atmosferycznym, wodzie, glebie, roślinach jadalnych, paszach oraz środkach spożywczych pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, a także w przedmiotach użytku kontaktujących się z żywnością oraz bezpośrednio i pośrednio z człowiekiem.

Celem ekologii człowieka jest określenie optymalnych warunków zdrowia ludzi przez:

- oceny narażeń wybranych zbiorowości lub całej populacji na szkodliwość działania zanieczyszczeń;

- opracowanie zasad zapobiegania skutkom niekorzystnych dla zdrowia zanieczyszczeń biologicznych, chemicznych i fizycznych.

Ekologia człowicka wykorzystuje zwłaszcza badania toksykologii, epidemiologii, nauki o środkach spożywczych i medycyny pracy.

Czynniki ekologiczne - całokształt uwarunkowań i procesów zachodzących w środowisku, które określają tempo i efektywność procesów biologicznych oraz wpływają na możliwość występowania, przeżycia i rozrodu organizmów. Wyróżnia się czynniki ekologiczne fizykochemiczne i biologiczne. Do fizykochemicznych należą:temperatura, światło, poziom radiacji, woda, tlen, dwutlenek węgla, sole mineralne. Czynniki biologiczne stanowią współoddziaływanie osobników jednego gatunku - zależności wewnątrzgatunkowe oraz osobników i populacji różnych gatunków - zależności międzygatunkowe. Niekiedy zachodzi zjawisko kompensacji ekologicznej, tzn. zastępowania jednego czynnika ograniczającego przez inny łatwo dostępny.

Przekształcanie i zanieczyszczanie środowiska często prowadzą do występowania w większym natężeniu czynników ekologicznych eliminujących organizmy z ich naturalnych siedlisk.

Tolerancja ekologiczna - odporność, wytrzymałość organizmów, gatunku lub układu ekologicznego na zmiany warunków środowiska, zakres wartości czynnika ograniczającego w jakim organizm może przeżyć. Zakresy wartości czynników warunkujących w przyrodzie są zazwyczaj duże, natomist organizmy mogą egzystować tylko w pewnym zakresie zmienności danego czynnika. Optymalne natężenie działania czynnika warunkuje wydajność procesów biologicznych w organiźmie, a natężenia zbliżone do skrajnych z reguły obniżają sprawność organizmu. Wyrażona liczbowo wartość progowa danego czynnika, poniżej której organizm nie może istnieć to punkt krytyczny minimum, a najwyższe to maksimum. Ekstremalne punkty wyznaczają granice to-

lerancji ekologicznej. Zakres natężenia czynnika pomiędzy punktami krytycznymi to strefa tolerancji, w obrębie której występują zależności pomiędzy natężeniem czynnika, a wielkością reakcji organizmu. Szerokość tej strefy jest wyrazem stopnia specjalizacji organizmu - granice zasięgu występowania gatunku są uzależnione od jej tolerancji. Tolerancja ekologiczna nie pokrywa się z optimum warunków dla osobnika czy gatunku i może być różna dla różnych grup wiekowych, populacji, funkcji życiowych, np. organizm może przeżyć ale się nie rozmnaża. Organizmy znajdujące się w warunkach skrajnych mogą wykazywać zmniejszoną tolerancję na zmiany innych czynników, np. niedożywione są mniej odporne na mróz. Granice tolerancji mogą być dziedziczone.

Ekosystem - podstawowa funkcjonalna jednostka ekologiczna; układ utworzony przez wszystkie organizmy zasiedlające dany obszar i tworzące zespół biotyczny wraz z ich środowiskiem abiotycznym. Wszystkie elementy ekosystemu pozostają we współzależności i warunkują się wzajemnie przez oddziaływanie organizmów żywych na ich siedlisko i siedliska na występujące w nich organizmy oraz przez wzajemne oddziaływanie.

W każdym ekosystemie zachodzi przepływ energii i obieg materii pomiędzy komponentami biocenozy a środowiskiem dzięki istnieniu organizmów należących do trzech podstawowych poziomów troficznych:

- producenci syntetyzujący materię organiczną;
- konsumenci zjadający inne organizmy lub martwą materię organiczną;
- destruenci rozkładający martwą materię organiczną i uwalniający nieorganiczne składniki pokarmowe dla producentów.

Każdy ekosystem jest układem otwartym, powiązanym przez procesy wymiany materii i energii w wyniku np. migracji zwierząt, przenoszenia diaspor. Podlega procesom naturalnych przemian, w efekcie których osiąga stan dojrzałości.

Ekosystem może być zrównoważony. Pod tym pojęciem rozumie się ekosystem o ustabilizowanej strukturze i względnej stałości wewnętrznych procesów ekologicznych. Zrównoważenie ekosystemu jest efektem wzajemnego dopasowania się jego komponentow biotycznych i ich adaptacji do przeciętnych warunków środowiska w wyniku długotrwałego procesu sukcesji ekologicznej. Ekosystem zrównoważony charakteryzują: trwałość w czasie, duże zróżnicowanie wewnętrzne, kontrola i stabilizacja przez biocenozę procesów zachodzących w biotypie, zróżnicowanie retencjonowania energii i zużywania jej z zapasów, zużywanie całej produkcji brutto na potrzeby wewnętrzne ekosystemu.

Biocenoza - żywa część ekosystemu - zespół wszystkich organizmów związanych z określonym biotypem, wykazujący autonomię i wewnętrzne powiązania funkcjonalne, strukturę oraz adaptację i zdolności do utrzymania równowagi dzięki mechanizmom i zjawiskom samoregulacji.

Organizmy w biocenozie reprezentują trzy podstawowe formy troficzne: producenta, konsumenta i destruenta, torząc mniej lub bardziej skomplikowane łańcuchy i sieci, w których każde niższe poziomem to organizmy zjadane, a każde wyższe to organizmy zjadające. Producenci to autotrofy, a konsumenci i destruenci to heterotrofy.

Obecność wszystkich tych organizmów i ich funkcjonowanie umożliwia obieg materii w środowisku. Usunięcie któregoś z ogniw łańcucha pokarmowego typowego dla danego ekosystemu w sposób zamierzony lub przypadkowy wskutek intoksykacji lub zanieczyszcze-

nia środowiska może zakłócać obieg materii doprowadzając do degradacji czy wręcz katastrofy ekologicznej. Żaden proces technologiczny nie jest w stanie zastąpić podstawowych funkcji biocenozy.

Populacja - grupa organizmów tego samego gatunku, zasiedlających określony areał, zgodnie z preferencjami biotypowymi gatunku i oddziaływujących wzajemnie na siebie. Oddziaływania te mogą być bezpośrednie, np. kontakty między pojedynczymi osobnikami i pośrednie, np. oddziaływanie jednego osobnika na inne poprzez zmienione przez niego środowisko.

Wzajemne oddziaływania wytwarzają pomiędzy osobnikami tej samej populacji różnego rodzaju więzi i współzależności, wskutek czego procesy życiowe pojedynczego osobnika mogą zależeć od procesów życiowych innych osobników w populacji. Populacja jest więc funkcjonalną jednostką zbiorczą i jako całość reaguje na zmiany środowiska. Rozwój populacji zależy zarówno od czynników środowiskowych zewnętrznych, (np. temperatury, wilgotności, nasłonecznienia,) jak też czynników wewnętrznych tej struktury i organizacji populacji.

Populację charakteryzują: wielkość, typ wzrostu, dynamika liczebności, organizacja przestrzenna, rozrodczość, śmiertelność, struktura płciowa, struktura wiekowa.

Do drugiej grupy odnoszą się pojęcia broni: jądrowej, chemicznej i geofizycznej.

Broń jądrowa - to amunicja, której działanie jest oparte na wyzwoleniu się energii w wyniku rozszczepienia się jąder pierwiastków ciężkich lub syntezy jąder pierwiastków lekkich oraz środki przenoszenia tej amunicji do celu.

Broń chemiczna - to toksyczne związki chemiczne oraz amunicja i urządzenia specjalnie zaprojektowane do spowodowania śmierci lub

innej szkody poprzez toksyczne właściwości związków chemicznych wyzwolonych w rezultacie zastosowania takiej amunicji i urządzeń.

Broń geofizyczna - to wszelkiego rodzaju energia i środki ją wytwarzające, zdolne do aktywnego oddziaływania na środowisko naturalne i procesy fizyczne zachodzące w przyrodzie.

### 1.3. Hipotezy robocze

Do zweryfikowania w toku badań naukowych autorzy przyjęli następujące hipotezy robocze:

1. Czynniki rażenia broni jądrowej - fala uderzeniowa, promieniowanie cieplne, promieniowanie przenikliwe, promieniotwórcze skażenie terenu i fale sejsmiczne powodują degradację lub dewastację środowiska naturalnego. Całkowita dewastacja środowiska naturalnego ma miejsce w rejonach przylegających do punktów zerowych wybuchów jądrowych.

Promieniotwórcze skażenie terenu, będące rezultatem wybuchów jądrowych i awarii reaktorów jądrowych może obejmować rejony rzędu setek i tysięcy kilometrów kwadratowych oraz degradować je na okres dziesiątek a nawet setek lat. Flora i fauna (w tym ludzie) narażeni na oddziaływanie nuklidów promieniotwórczych , w rezultacie przebywania w terenie skażonym podlegają różnego rodzaju procesom chorobotwórczym oraz zmianom genetycznym.

2. Degradacja i dewastacja środowiska naturalnego na skutek skażenia terenu bojowymi środkami trującymi może mieć charakter lokalny i obejmować czas liczony w tygodniach lub miesiącach. Po tym okresie na skutek procesów fizykochemicznych zachodzących w środowisku następuje odtworzenie jego właściwości. Degradację a nawet dewastację środowiska na okres dziesiątków lat mogą powodować nie-

które toksyczne środki przemysłowe (takie jak np. dioksyny oraz substancje ropopochodne) oraz środki niszczące roślinność. Niszczenie środowiska może przy tym obejmować obszary rządu dziesiątków i setek tysięcy kilometrów kwadratowych. Ofiarami zniszczenia środowiska naturalnego bronią chemiczną mogą być ludzie oraz fauna i flora.

3. Broń geofizyczna już dziś może być przyczyną degradacji i dewastacji atmosfery, hydrosfery i litosfery na okres dziesiętków i setek lat, chociaż raczej w skali lokalnej. W miarę postępów nauki oraz wzrostu możliwości oddziaływania na środowisko, skala degradacji i dewastacji środowiska bronią geofizyczną, realizowana w toku walki zbrojnej może ulec znacznemu poszerzeniu.

## 1.4. Metody badawcze

Osiągnięcie założonego celu badań, a tym samym uzyskanie odpowiedzi na wszystkie postawione pytania, wymagało zastosowania odpowiednich metod badawczych. W toku prowadzenia badań autorzy posłużyli się zarówno metodami empirycznymi jak i teoretycznymi. Spośró metod empirycznych wykorzystano przede wszystkim badanie opinii, zaś spośród metod teoretycznych takie metody jak analiza i synteza, porównanie oraz wnioskowanie.

Wnioski z przeprowadzonych eksperymentów w postaci doświadczalnych wybuchów jądrowych oraz użycia broni jądrowej i chemicznej w minionych wojnach, a także wnioski i opinie o rezultatach awarii reaktorów jądrowych i obiektów zawierających środki toksyczne, opisane w literaturze, odpowiednio adaptowane i przetworzone do potrzeb rozważanego tematu posłużyły do weryfikacji tez sprecyzowanych przez autorów.

Naukowe - myślowe uporządkowanie i wielostopniowe przetworzenie nagromadzonego materiału emipirycznego było możliwe dzięki wykorzystaniu teoretycznych metod badawczych - analizy syntezy, porównania, dedukcji i indukcji oraz analogii.

Analiza i synteza jako metody badawcze występowały wspólnie i wzajemnie się wiązały. Znalazły zastosowanie we wszystkich etapach procesu badawczego. Poprzez zastosowanie analizy starano się podzielić badany obiekt na poszczególne części składowe w celu poznania jego cech, właściwości, różnorodnych stron oraz mechanizmów działania, zgodnie z zakresem i celem badań. W toku syntezy z kolei łączono w całość wyodrębnione i zbadane w toku analizy elementy składowe decydujące o stanie środowiska i skutkach, które z niego wynikają. Z mnogości faktów i stwierdzeń starano się utworzyć całość wewnętrznie spójną i adekwatnie obrazującą stopień degradacji i dewastacji środowiska w toku walki zbrojnej.

Porównanie w toku badań było ważnym zabiegiem poznawczym, umożliwiającym znalezienie cech podobieństwa i odmienności w badanych sytuacjach przez odniesienie ich do innych sytuacji. Sytuacjami, które porównywano były przypadki destrukcji i dewastacji środowiska w minionych wojnach oraz w ewentualnych sytuacjach prognostycznych.

W procesie wnioskowania, w toku którego w oparciu o stwierdzone fakty precyzowano nowe stwierdzenia, znalazły zastosowanie metody dedukcji i indukcji. Dedukcja znajdowała zastosowanie w tych przypadkach, gdy precyzowano wnioski, których nie można było oprzeć na wystarczającej bazie empirycznej. Indukcja z kolei była wykorzystywana w tych przypadkach, gdy ilość szczegółów była wystarczająca do sformułowania ogólnego wniosku.

## 1.5. Przegląd literatury tematycznej

Rozpatrywanie problemów degradacji i dewastacji środowiska naturalnego jako skutku działań zbrojnych, przy sprecyzowanych w rozdziale 1.1. ograniczeniach, wymagało zapoznania się z literaturą, w której autorzy rozpatrywali bezpośrednie i pośrednie skutki oddziaływania na środowisko broni jądrowej (w tym radioaktywnych środków przemysłowych), chemicznej (w tym toksycznych środków przemysłowych) oraz geofizycznej. W toku opracowania pracy sięgnięto również do literatury traktującej w sposób ogólny o zagrożeniach i ochronie środowiska naturalnego. Podział literatury na grupy ściśle związane z poszczególnymi rozdziałami pracy, znalazł swoje odzwierciedlenie w spisie literatury.

Spośród pozycji literatury traktującej o zagrożeniach i ochronie środowiska naturalnego szczególną rolę zajmuje wydawnictwo pt "Definicje pojęć z zakresu ochrony środowiska". Zawarte w nim definicje adaptowano bez większych zmian do potrzeb opracowanej pracy studyjnej, co znalazło odzwierciedlenie w podrozdziale 1.2. "Atlas wielkich zagrożeń" M. Barniera, wśród wielu rozpatrywanych w nim zagrożeń przedstawia również te, które są związane ze skażeniami środowiska środkami promieniotwórczymi i chemicznymi. Okazały się one bardzo przydatne przy rozpatrywaniu poszczególnych problemów ujętych w pracy. Bardzo pomocna okazała się również pozycja wydana przez PWN: opracowanie Marstona Batesa "Człowiek i jego środowisko". Przedstawia ona związki i zależności jakie występują między człowiekiem i środowiskiem oraz procesy jakie zachodzą w biosferze. Zapoznanie się z tymi procesami pozwoliło lepiej zrozumieć mechanizmy degradacji i dewastacji środowiska naturalnego będące rezultatem oddziaływania na środowisko broni jądrowej, chemicznej i geofi-

zycznej. Przykładów degradacji środowiska przyrodniczego w wyniku konfliktów zbrojnych, ze szczególnym uwzględnieniem Zatoki Perskiej dostarczył artykuł St. Śladkowskiego opublikowany w "Myśli Wojskowej".

Problematyka degradacji i dewastacji środowiska naturalnego jako skutek użycia broni jądrowej oraz awarii reaktorów jądrowych znajduje stosunkowo szerokie odzwierciedlenie w literaturze. Szczególnie wiele miejsca poświęca się w niej zagadnieniom destrukcyjnego oddziaływania na środowisko skażeń promieniotwórczych będących rezultatem doświadczalnych wybuchów jądrowych oraz awarii reaktorów jądrowych w Windscale oraz Czarnobylu. Dla opracowania tej problematyki w pracy studyjnej szczególne znaczenie miały takie pozycje jak: Hoffmanna M. "Kernwaffen und Kernwffenschutz", w której autor przedstawił mechanizmy powstawania izotopów promieniotwórczych w toku przemian jądrowych i kształtowanie się skażeń środowiska; Jaworowskiego Z. "Radioaktywność a zdrowie ludzkie", w której autor zajął się problematyką wpływu skażeń promieniotwórczych na środowisko ze szczególnym uwzględnieniem populacji ludzkiej; Bałtrukiewicza Z. i Dereckiego J. "Zarys patologii popromiennej i ochrony radiologicznej", w której autorzy szczegółowo rozpatrywali zagadnienie oddziaływania promieniowania jonizującego na organizmy żywe, przede wszstkim zaś na organizmy ludzkie. Dla rozpatrzenia skutków awarii reaktorów jądrowych niezwykle pomocne okazały się: "Raport w sprawie następstw katastrofy w Czernobylu" oraz "Raport Komisji Rządowej do spraw oceny promieniowania jądrowego i działań profilaktycznych".

Oddziaływanie fali uderzeniowej i promieniowania cieplnego na środowisko nie znajdują w literaturze tak szerokiego odzwierciedlenia jak oddziaływanie promieniotwórczego skażenia terenu. Jest to zrozu-

miałe jeżeli uwzględnić, że czynniki te powodują degradację i dewastację środowiska jedynie w skali lokalnej. Przy rozpatrywaniu zagadnienia wykorzystano szczególnie takie publikacje jak: "Bojewyje swojstwa jadiernogo oružija", będącego fundamentalnym, trzytomowym dziełem przedstawiającym rażące działanie poszczególnych czynników rażenia broni jądrowej na ludzi, sprzęt bojowy i środowisko; "Broń jądrowa" będąca podręcznikiem przetłumaczonym z języka rosyjskiego oraz wspomniane wcześniej opracowanie Hoffmanna "Kernwaffen und Kernwaffenschutz". Przy opracowaniu tego zagadnienia bardzo pomocne były też "metodyki..." wydane przez MON dla sił zbrojnych.

Degradacja i dewastacja środowiska naturalnego jako skutek użycia broni chemicznej wymagała zapoznania się z literaturą traktującą o wpływie na środowisko bojowych środków trujących, toksycznych środków przemysłowych oraz środków fitotoksycnych. Każda z wymienionych grup toksycznych środków chemicznych ma bardzo charakterystyczne właściwości toksyczne oraz chemiczne i fizyczne.

Przy ocenie problemów degradacji i dewastacji środowiska przez współczesne bojowe środki trujące niezwykle pomocne były takie pozycje jak: Rotschild J. H. "Tomorow's weapons" książki przedstawiającej możliwośći użycia omawianych środków do rażenia ludzi i środowiska; "Raport Sekretarza Generalnego ONZ o broni chemicznej i bakteriologicznej (biologicznej)", w którym eksperci o ugruntowanym autorytecie przedstawili m. in. swoje opinie o problemie; "Metodyka oceny sytuacji chemicznej", w której przedstawiono tabele obrazujące zachowanie się bojowych środków trujących w środowisku.

Przy ocenie problemów degradacji i dewastacji środowiska przez toksyczne środki przemysłowe wzięto pod uwagę ustalenia zawarte w "Metodyce oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycz-

nymi środkami przemysłowymi" oraz innych wydawnictw traktujących o problemie.

Problematyka degradacji i dewastacji środowiska przez związki fitotoksyczne ma swoją bogatą literaturę w związku z masowym użyciem tych środków przez Stany Zjednoczone w toku wojny na Półwyspie Indochińskim. Skutki ekologiczne użycia tych środków były następnie przedmiotem pogłębionych studiów prowadzonych przez naukowców różnych specjalności. Wyniki badań przedstawili oni m.in. w czasie konferencji naukowej przeprowadzonej w Hanoi w 1983 r. Opublikował je A. Westing w książce "Herbicydes in war: the long-term ekological and humen consquences". W toku opracowania tych zagadnień szeroko korzystano z danych zawartych w wymienionym wydawnictwie oraz innych pozycjach ujętych w literaturze.

Problematyka degradacji i dewastacji środowiska naturalnego jako skutku użycia broni geofizycznej jest w literaturze traktowana raczej marginalnie. Broń geofizyczna jest bowiem bronią przyszłości, która pojawi się na polu walki dopiero wtedy, kiedy uda się poznać procesy fizyczne zachodzące w atmosferze, hydrosferze i litosferze oraz kontrolować ich przebieg. Prace związane z poznawaniem tych procesów i oddziaływaniem człowieka na nie trwają jednak nieustannie. Mają one ogromne znaczenie dla przeciwdziałania niszczycielskim siłom przyrody. Informacje o nich pojawiają się w publikowanych od czasu do czasu artykułach. Większość z nich ukazuje się w czasopismach obcojęzycznych, chociaż tłumaczenia tych artykułów oraz ich omówienia publikowane są również w czasopismach wydawanych w języku polskim. Publikacje te, wymienione w spisie literatury, wykorzystano w toku opracowania problemu.

Ważnym źródłem wiedzy na temat broni i wojny geofizycznej były informacje zawarte w skrypcie R. Mroczyńskiego. Zebrał on i uo-

gólnił informacje o problemie znane w połowie lat siedemdziesiątych. Istotnym źródłem wiedzy o procesach geofizycznych zachodzących w litosferze były również książki naukowe i popularnonaukowe ujęte w spisie literatury. Nie zawierają one wiedzy o broni geofizycznej i skutkach jej oddziaływania na środowisko. Przedstawiają jednak procesy zachodzące w biosferze i tym samym pozwalają zapoznać się głębiej z problemem. Szczególne znaczenie odegrały takie pozycje jak: Starucha "Meteorologia i środowisko"; Herlingera "Człowiek w walce z żywiołem"; Riezanowa "Wielkie katastrofy w historii Ziemi" oraz Maślankiewicza "Wulkany i człowiek".

# 2. DEGRADACJA I DEWASTACJA ŚRODOWISKA JAKO SKUTEK UŻYCIA BRONI JĄDROWEJ I AWARII REAKTORÓW JĄDROWYCH

Broń jądrowa i awarie reaktorów jądrowych stanowią potencjalne źródło degradacji i dewastacji środowiska. Taką tezę mozna sprecyzować w oparciu o doświadczenia wynikające z bojowego użycia broni jądrowej i przeprowadzonych doświadczeń z tą bronią oraz wnioski wynikające z zaistniałych dotychczas awarii reaktorów jądrowych.

Broń jądrowa pojawiła się pod koniec drugiej wojny światowej. Swiat dowiedział się o niej po zrzuceniu bomb jądrowych na Hiroszimę i Nagasaki. Okazało się,że broń jądrowa nie tylko zabija i rani ludzi, ale oddziaływując falą uderzeniową, promieniowaniem cieplnym i promieniowaniem przenikliwym na środowisko powoduje jego degradację i dewastację.

W Hiroszimie[2)] strefa całkowitego zniszczenia objęła 10,3 km$^2$. Prawie 60000 budynków z ogólnej liczby 90000 znajdujących się na powierzchni 24,5 km$^2$ zostało całkowicie zniszczonych lub silnie uszkodzonych. Wszystkie domy drewniane znajdujące się w promieniu 2,5 km od punktu zerowego wybuchu zostały całkowicie zniszczone a domy z cegły przekształcone w gruzy. Obok centralnej strefy całkowitych zniszczeń wyróżniono różne strefy zniszczeń - od silnych do słabych. Ustalono, że w promieniu 7,2 km od punktu zerowego wybuchu uszkodzone były dachy i ściany oraz ramy okienne i drzwi. Szyby w oknach zostały wybite w promieniu do 13 km od centrum wybuchu. Prawie natychmiast po wybuchu bomby jądrowej rozpoczęły się pożary. Tysiące pojedynczych pożarów szybko rozprzestrzeniało sie we

---

2. Zob. Qughterson A., Warren S. Medical effect of the atomic bomb in Japan. Nowy Jork, Toronto, Londyn, 1956 (Tłumaczenie na język rosyjski, Moskwa 1960)

wszystkich kierunkach. W rezultacie pożar objął 11,5 km$^2$. Rozprzestrzenianie pożaru zależało przy tym w większym stopniu od gęstości zabudowy aniżeli od innych czynników. Od pożarów powstał z kolei silny wiatr, który po 2 - 3 godzinach od momentu wybuchu osiągnął prędkość 45 - 55 km/h. Wiatr wiał w stronę centrum miasta i z jednej strony wzniecał pożary, z drugiej ograniczał ich rozprzestrzenianie. Wiatr przyziemny wiejący z prędkością 8 km/h nie wywierał dużego wpływu na pożar. Większość pożarów wygasła samoczynnie po spaleniu się obiektów. Niektóre ugasili strażacy.

W Nagasaki zniszczenia były mniejsze, przy czym zadecydował o tym przede wszystkim pagórkowaty teren. Tym niemniej i tutaj z ogólnej liczby 52000 domów całkowitemu zniszczeniu uległo 14000, a 5400 domów zostało poważnie uszkodzonych falą uderzeniowa lub ogniem albo jednym i drugim.

W rezultacie użycia bomb jądrowych nastąpiła więc dewastacja środowiska stworzonego wcześniej przez człowieka.

Wybuchy ładunków jądrowych w Hiroszimie i Nagasaki były wybuchami powietrznymi. Przy takich wybuchach większość energii jądrowej wyzwala się w postaci fali uderzeniowej i promieniowania cieplnego. Później w czasie naziemnych i podziemnych wybuchów doświadczalnych okazało się, że oprócz wymienionych czynników rażenia na środowisko działa również intensywnie promieniowanie przenikliwe i promieniotwórcze skażenie terenu. Ten ostatni czynnik występuje również przy awarii reaktora jądrowego. Skażenia promieniotwórcze terenu w przypadku wybuchów ładunków jądrowych dużej mocy oraz awarii reaktorów jądrowych mogą obejmować powierzchnie rzędu dziesiątek i setek tysięcy kilometrów kwadratowych. Teren zostaje skażony przez okres dziesiątków i setek lat oddziaływując ujemnie na poszczególne bicenozy oraz populację ludzką.

O destrukcyjnym oddziaływaniu broni jądrowej na środowisko naturalne wiadomo więc od dawna. Naukowa - jakościowa i ilościowa - ocena problemu wymaga jednak pogłębionej analizy, sprowadzającej się do uzyskania odpowiedzi na takie pytania jak:

- jaka może być skala zmian środowiska przy oddziaływaniu fali uderzeniowej generowanej przez wybuchy ładunków jądrowych różnej mocy?

- jaka może być sytuacja pożarowa w środowisku na skutek oddziaływania promieniowania cieplnego przy wybuchach ładunków o różnej mocy oraz jaki może być wpływ pożarów na stan środowiska?

- jaki jest zakres degradacji i dewastacji środowiska naturalnego na skutek skażenia terenu pyłem i aerozolem promieniotwórczym powstałym w wyniku wybuchu ładunku jądrowego oraz awarii reaktora jądrowego oraz jakie mogą być skutki skażenia promieniotwórczego dla życia ludzi oraz świata zwierząt i roślin ?

## 2.1. Degradacja i dewastacja środowiska naturalnego jako skutek oddziaływania fali uderzeniowej

Fala uderzeniowa jest jednym z głównych czynników rażenia powietrznych, naziemnych (nawodnych) oraz podziemnych (podwodnych) wybuchów jądrowych. W zależności od charakteru ośrodka, w którym następuje wybuch (powietrze, woda lub ziemia) mamy do czynienia z powietrzną falą uderzeniową, falą uderzeniową w ziemi oraz z falą sprężenia w ziemi. W większości przypadków wybuch jądrowy jest źródłem powstawania fali uderzeniowej w dwóch lub nawet w trzech ośrodkach. Każda z wymienionych wyżej fal wywołuje w nim charakterystyczne zmiany. Niewątpliwie największe z nich są powo-

dowane na lądzie w wyniku oddziaływania powietrznej fali uderzeniowej .

Powietrzna fala uderzeniowa, będąca w swej istocie masą sprężonego powietrza rozprzestrzeniającego się w kolejnych warstwach powietrza we wszystkich kierunkach, począwszy od środka wybuchu, początkowo z prędkością naddźwiękową, a nastepnie po wyhamowaniu, z prędkością mniejszą od prędkości dźwięku, charakteryzuje się wieloma parametrami. Ciśnienie, gęstość, temperatura i prędkość ruchu powietrza na czole fali uderzeniowej, a także prędkość poruszania się samej fali to ważniejsze parametry fali. Od ich wielkości zależą właściwości rażące fali uderzeniowej.

Na uwagę zasługuje to, że ciśnienie, gęstość, temperatura i prędkość ruchu powietrza na czole fali uderzeniowej, jak również prędkość poruszania się samej fali, pozostają z sobą w ścisłym związku niezależnym od mocy wybuchu.

Wielkości podstawowych parametrów charakteryzujących falę uderzeniową zależne od wielkości nadciśnienia na czole fali uderzeniowej, zostały podane w tabeli 1. Podano tam również dane liczbowe i niektóre informacje o rażącym działaniu fali uderzeniowej w zależności od wartości nadciśnienia fali uderzeniowej.

Z danych zawartych w tabeli 1. wynika, że niszczące i rażące działanie fali uderzeniowej wybuchu jądrowego zależy od nadciśnienia i prędkości powietrza na czole fali.

Wszystkie obiekty znajdujące się na drodze rozprzestrzeniania się fali uderzeniowej w chwili podejscia do nich czoła fali podlegają gwałtownemu uderzeniu. Siła uderzenia zależy od energii wybuchu i oddalenia rozpatrywanego obiektu od środka wybuchu. Prawidłowością jest, że wraz ze zwiększeniem energii wybuchu wzrasta nadciśnienie fali uderzeniowej (określona wielkość ciśnienia występuje na

Tabela 1

Zależność podstawowych parametrów czoła fali uderzeniowej wybuchu jądrowego od nadciśnienia powietrza na czole fali

| Nadciśnienie na czole fali ($kG/cm^2$) | Prędkość ruchu czoła fali (m/s) | Prędkość ruchu powietrza na czole fali (m/s) | Temperatura powietrza na czole fali (stop. C) | Niszczące i rażące działanie fali uderzeniowej |
|---|---|---|---|---|
| 0,01 | 341,4 | 2,3 | 15,8 | Częściowe zniszczenia oszklenia budynków |
| 0,05 | 347 | 10 | 19 | Całkowite zniszczenia oszklenia budynków |
| 0,10 | 354 | 23 | 23 | Lekkie uszkodzenia budynków |
| 0,20 | 367 | 44 | 30 | Średnie uszkodzenia budynków |
| 0,30 | 380 | 63 | 37 | Silne uszkodzenia budynków murowanych |
| 0,40 | 392 | 82 | 43 | Całkowite zniszczenie budynków murowanych<br>Średnie urazy u ludzi |
| 0,50 | 404 | 99 | 50 | |
| 0,60 | 416 | 115 | 56 | Całkowite zburzenie budynków przemysłowych o konstrukcji metalowej<br>Ciężkie urazy u ludzi |
| 0,70 | 428 | 131 | 63 | |
| 0,80 | 439 | 146 | 68 | |
| 0,90 | 450 | 160 | 74 | Bardzo ciężkie urazy u ludzi |
| 1,0 | 460 | 174 | 80 | |
| 1,5 | 510 | 236 | 107 | |
| 2,0 | 555 | 287 | 132 | Zniszczenie różnego rodzaju uzbrojenia |
| 3,0 | 635 | 378 | 182 | |
| 5,0 | 772 | 518 | 279 | Zniszczenie i zburzenie większości inżynieryjnych urządzeń obronnych |
| 7,0 | 888 | 630 | 376 | |
| 10,0 | 1040 | 772 | 514 | |
| 15,0 | 1245 | 964 | 747 | |
| 20,0 | 1430 | 1120 | 977 | |

Źródło: Broń jądrowa, podręcznik, Wyd MON 1964, str. 50

większej odległości) oraz przedłuża się czas trwania nadciśnienia i podciśnienia.

Efektem działania fali uderzeniowej są zniszczenia obiektów w terenie. Zniszczeniu ulegają budynki i infrastruktura terenowa. W lasach i miastach w rezultacie działania fali uderzeniowej powstają zawały. Promienie stref utraty właściwości użytkowej budynków administracyjno - przemysłowych i mieszkalnych przedstawiono w tabeli 2.

Z informacji zawartych w tabeli 2. wynika, że promienie utraty właściwości użytkowych zależą w znacznym stopniu od mocy zdetonowanego ładunku jądrowego oraz od rodzaju budynku (jego odporności na działanie fali uderzeniowej). W mniejszym stopniu zależą od zredukowanej wysokości wybuchu. Na uwagę zasługuje fakt, że przy wybuchach ładunków jądrowych dużej i wielkiej mocy promienie utraty właściwości użytkowych mieszczą się w granicach od kilku do kilkunastu kilometrów. Promieniom tym odpowiadają powierzchnie od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych. Na tak ogromnych powierzchniach mogą znajdować się dziesiątki, a nawet setki tysięcy obiektów, które ulegną zniszczeniu. Nawet w przypadku wybuchów średniej mocy powierzchnie te mogą wynosić od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych. W granicach takiej powierzchni może znajdować się od kilku do kilkudziesięciu tysięcy obiektów.

W miastach w wyniku zburzenia domów oraz w lasach, w wyniku powalenia drzew, powstają zawały. Promienie stref zawałów zależą od mocy wybuchów, a w miastach dodatkowo od gęstości zabudowy. Wynoszą one od kilkuset metrów (przy wybuchach ładunków małej mocy) do kilku kilometrów (przy wybuchach ładunków średniej i dużej mocy). Równocześnie ze zniszczeniem przez falę uderzeniową budynków i obiektów infrastruktury terenowej może mieć miejsce znisz-

Tabela 2

Promienie stref utraty właściwości użytkowej budynków (km)

| Rodzaj obiektu | Zredukowana wysokość wybuchu | Moc wybuchu (kt) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 5000 |
| NIskie budynki przemysłowe o lekkiej konstrukcji stalowej | 0 | 0,40 | 0,58 | 0,68 | 0,86 | 1,24 | 1,47 | 1,85 | 2,33 | 3,16 | 3,98 | 6,81 |
| | 7 | 0,41 | 0,59 | 0,70 | 0,88 | 1,28 | 1,51 | 1,91 | 2,40 | 3,26 | 4,10 | 7,02 |
| | 12 | 0,43 | 0,63 | 0,74 | 0,94 | 1,35 | 1,60 | 2,01 | 2,54 | 3,44 | 4,34 | 7,42 |
| | 20 | 0,47 | 0,68 | 0,81 | 1,01 | 1,46 | 1,73 | 2,18 | 2,75 | 3,74 | 4,71 | 8,05 |
| NIskie murowane budynki przemysłowe | 0 | 0,71 | 1,02 | 1,21 | 1,52 | 2,19 | 2,60 | 3,27 | 4,13 | 5,60 | 7,05 | 12,10 |
| | 7 | 0,78 | 1,13 | 1,33 | 1,68 | 2,42 | 2,88 | 3,62 | 4,56 | 6,19 | 7,80 | 13,30 |
| | 12 | 0,84 | 1,20 | 1,43 | 1,80 | 2,60 | 3,08 | 3,88 | 4,88 | 6,63 | 8,35 | 14,30 |
| | 20 | 0,92 | 1,32 | 1,57 | 1,98 | 2,85 | 3,38 | 4,26 | 5,36 | 7,28 | 9,17 | 15,70 |
| Wysokie budynki przemysłowe o lekkiej konstrukcji stalowej i murowane | 0 | 0,41 | 0,59 | 0,70 | 0,88 | 1,28 | 1,51 | 1,91 | 2,40 | 3,26 | 4,10 | 7,02 |
| | 7 | 0,43 | 0,63 | 0,74 | 0,94 | 1,35 | 1,60 | 2,01 | 2,54 | 3,44 | 4,34 | 7,42 |
| | 12-20 | 0,47 | 0,67 | 0,81 | 1,01 | 1,46 | 1,73 | 2,18 | 2,75 | 3,74 | 4,71 | 8,05 |
| Budynki mieszkalne murowane, wielopiętrowe | 0 | 0,83 | 1,20 | 1,43 | 1,80 | 2,59 | 3,07 | 3,87 | 4,88 | 6.62 | 8,34 | 14,30 |
| | 7 | 0,94 | 1,35 | 1,60 | 2,03 | 2,91 | 3,44 | 4,34 | 5,47 | 7,42 | 9,35 | 16,00 |
| | 12 | 1,00 | 1,44 | 1,70 | 2,14 | 3,09 | 3,67 | 4,62 | 5,82 | 7,90 | 9,95 | 17,00 |
| Budynki mieszkalne z płyt betonowych, wielopiętrowe | 0 | 0,65 | 0,94 | 1,12 | 1,41 | 2,03 | 2,41 | ,303 | 3,82 | 5,18 | 6,53 | 11,20 |
| | 7 | 0,72 | 1,00 | 1,24 | 1,56 | 2,25 | 2,67 | 3,36 | 4,23 | 5,75 | 7,24 | 12,40 |
| | 12 | 0,78 | 1,12 | 1,32 | 1,67 | 2,41 | 2,86 | 3,60 | 4,53 | 6.16 | 7,75 | 13,20 |
| | 20 | 0,85 | 1,23 | 1,45 | 1,83 | 2,64 | 3,14 | 3,95 | 4,98 | 6,76 | 8,51 | 14,50 |
| Budynki mieszkalne z płyt betonowych o małej ilości pięter | 0 | 0,61 | 0,88 | 1,04 | 1,32 | 1,90 | 2,25 | 2,84 | 3,58 | 4,85 | 6,11 | 10,40 |
| | 7 | 0,68 | 0,98 | 1,12 | 1,46 | 2,11 | 2,50 | 3,15 | 3.97 | 5.39 | 6.79 | 11.60 |
| | 12 | 0,73 | 1,10 | 1,24 | 1,57 | 2,26 | 2,68 | 3,37 | 4,25 | 5,77 | 7,27 | 12,40 |
| | 20 | 0,80 | 1,15 | 1,36 | 1,72 | 2,48 | 2,94 | 3,70 | 4,66 | 6,33 | 7,97 | 13,60 |
| Budynki mieszkalne drewniane | 0 | 1,15 | 1,66 | 1,97 | 2,48 | 3,57 | 4,24 | 5,34 | 6,73 | 9,13 | 11,50 | 19,70 |
| | 7 | 1,28 | 1,85 | 2,19 | 2,76 | 3,98 | 4,72 | 5,94 | 7,49 | 10,20 | 12,80 | 21,99 |
| | 12 | 1,34 | 1,93 | 2,46 | 2,89 | 4,16 | 4,94 | 6,22 | 7,84 | 10.60 | 13,40 | 22,90 |
| | 20 | 1,44 | 2,08 | | 3,10 | 4,47 | 5,30 | 6,68 | 8,42 | 11,40 | 14,40 | 24,60 |

Źródło: Metodyka prognozowania i oceny strat w rejonach uderzeń jadrowych,
Warszawa , 1991 r. str 112 - 115.

czenie urządzeń grzewczych oraz instalacji energetycznych i gazowych. Może to spowodować liczne pożary w środowisku. Fala uderzeniowa jest więc, obok promieniowania cieplnego, ważnym czynnikiem powodującym pożary w środowisku.

Rezultatem oddziaływania fali uderzeniowej na środowisko jest więc zniszczenie obiektów, które się w nim znajdują. Jeden ładunek jądrowy wielkiej mocy może zniszczyć wielomilionowe miasto i spowodować ofiary liczone w setkach tysięcy ludzi. Usunięcie zniszczeń wymagałoby wielu lat i związane byłoby z ogromnymi nakładami finansowymi.

## 2.2. Degradacja i dewastacja środowiska jako rezultat oddziaływania promieniowania cieplnego

Promieniowanie cieplne jest czynnikiem rażenia występującym przy wybuchach wykonywanych w atmosferze oraz w niewielkim stopniu przy wybuchach podziemnych z wyrzuceniem gruntu. Źródłem promieniowania cieplnego wybuchu jądrowego jest kula ognista składająca się z masy rozżarzonych produktów wybuchu i rozżarzonego powietrza. Temperatura powietrza w kuli ognistej jest bardzo wysoka i waha się w granicach od kilku milionów stopni w chwili powstania kuli do kilku tysięcy w końcowej fazie świecenia. Ze strefy kuli ognistej przez cały czas jej istnienia emitowane jest promieniowanie elektromagnetyczne nadfioletowe, widzialne i podczerwone. Ciągła zmiana temperatury kuli ognistej powoduje zmiany w rozkładzie widma promieniowania cieplnego[3)].

---

3. W wysokiej temperaturze widmo promieniowania cieplnego będzie zawierało znaczne ilości promieniowania nadfioletowego i stosunkowo mało promieniowania podczerwonego. Spadek temperatury spowoduje zmniejszenie ilości promieniowania nadfioletowego i zwiększenie ilości promieniowania podczerwonego.

Czas świecenia kuli ognistej zależy od mocy wybuchu jądrowego i jest tym dłuższy im większa jest moc wybuchu. Podczas wybuchów małej mocy świecenie trwa 1 - 2 s, o średniej mocy - 2 - 4 s. Podczas wybuchów termojądrowych o dużej mocy czas świecenia może dochodzić do kilkudziesięciu sekund. Prędkość rozchodzenia się promieniowania cieplnego w powietrzu wynosi 300000 km/s. Oznacza to, że zaczyna ono oddziaływać na obiekt w momencie rozpoczęcia się reakcji jądrowej.

Promieniowanie cieplne w toku oddziaływania na środowisko powoduje, oprócz porażeń ludzi, również pożary budynków, lasów, upraw, suchej trawy, uzbrojenia, sprzętu technicznego oraz środków materiałowych. Charakterystyczne jest to, że w wyniku oddziaływania promieniowania cieplnego powstaje jednocześnie duża ilość ognisk pożarów na stosunkowo dużej powierzchni. W dogodnych warunkach poszczególne ogniska łączą się i powstaje jednolity olbrzymi pożar, którego ugaszenie nie jest możliwe. Pożary w miastach mogą być spowodowane zniszczeniem lub uszkodzeniem sieci gazowej i zbiorników z gazem, powstaniem krótkich zwarć w sieci elektrycznej oraz wybuchem zbiorników z paliwem lub innymi łatwopalnymi substancjami. Promienie stref powstawania pożarów w lasach, osiedlach i na obszarach z suchą roślinnością zależą przede wszystkim od mocy wybuchu. Wpływ wywierają również takie czynniki jak zredukowana wysokość wybuchu, przejrzystość powietrza, pogoda itp. Problem ilustrują dane zawarte w tabeli 3.

Z informacji zawartych w tabeli 3. wynika, że promienie stref powstawania pożarów wahają się w szerokich granicach - od kilkuset metrów (przy bardzo małych mocach) do kilku kilometrów (przy średnich mocach) i kilkudziesięciu kilometrów (przy wybuchach ładunków

dużej i wielkiej mocy). Takim promieniom odpowiadają powierzchnie odpowiednio kilku, kilkunastu i kilkuset kilometrów kwadratowych. Można oczekiwać, że wszystkie palne obiekty znajdujące się na podanych powierzchniach ulegną spaleniu. Odtworzenie spalonych budunków wymaga lat i ogromnych nakładów finansowych, zaś odtworzenie spalonych lasów - nakładów i czasu rzędu dziesiątków lat.

Tabela 3

Promienie (w km)stref powstawania pożarów w osiedlach oraz lasach i na obszarach z suchą roślinnością podczas naziemnych i powietrznych wybuchów jądrowych latem i zimą

(powietrze czyste)

| Zredukowana wyskość wybuchu | Moc wybuchu (w kt) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,1 | 0,5 | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 5000 |
| W miastach | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,15 | 0,31 | 0,40 | 0,68 | 0,84 | 1,10 | 1,80 | 2,30 | 3,00 | 4,10 | 5,80 | 8,00 | 15,00 |
| 7 | 0,24 | 0,50 | 0,65 | 1,10 | 1,30 | 1,80 | 1,90 | 3,60 | 4,80 | 6,50 | 9,30 | 13,00 | 23,00 |
| 12 | 0,26 | 0,53 | 0,70 | 1,20 | 1,40 | 1,80 | 3,10 | 3,90 | 5,10 | 7,00 | 11,00 | 14,00 | 26,00 |
| 20 | 0,25 | 0,50 | 0,68 | 1,20 | 1,40 | 1,80 | 3,10 | 3,90 | 5,20 | 7,10 | 11,00 | 14,00 | 29,00 |
| W osiedlach | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,20 | 0,36 | 0,50 | 0,83 | 1,10 | 1,40 | 2,30 | 2,80 | 3,80 | 5,00 | 7,20 | 9,50 | 18,00 |
| 7 | 0,33 | 0,67 | 0,80 | 1,30 | 1,70 | 2,30 | 3,70 | 4,50 | 6,00 | 7,90 | 11,00 | 15,00 | 28,00 |
| 12 | 0,35 | 0,72 | 0,86 | 1,40 | 1,80 | 2,50 | 4,00 | 4,90 | 6,50 | 8,70 | 13,00 | 16,00 | 31,00 |
| 20 | 0,34 | 0,70 | 0,84 | 1,40 | 1,80 | 2,50 | 4,00 | 4,90 | 6,50 | 8,80 | 13,00 | 18,00 | 35,00 |
| W leśnych masywach i na obszarach z suchą roślinnością | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,12 | 0,25 | 0,34 | 0,54 | 0,67 | 0,89 | 1,40 | 1,70 | 2,20 | 3,00 | 4,30 | 5,70 | 11,00 |
| 7 | 0,20 | 0,40 | 0,54 | 0,87 | 1,10 | 1,40 | 2,30 | 2,80 | 3,70 | 4,80 | 6,90 | 9,00 | 17,00 |
| 12 | 0,21 | 0,43 | 0,59 | 0,94 | 1,20 | 1,50 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 5,20 | 7,60 | 10,00 | 19,00 |
| 20 | 0,20 | 0,41 | 0,57 | 0,92 | 1,10 | 1,50 | 2,40 | 3,00 | 4,00 | 5,30 | 7,80 | 10,00 | 21,00 |

Źródło: Metodyka prognozowania i oceny strat w rejonach uderzeń jądrowych, Wyd. MON, Warszawa1990, str.142-143

## 2.3. Degradacja i dewastacja środowiska jako rezultat skażenia środowiska nuklidami promieniotwórczymi

Rozpatrując problem degradacji i dewastacji środowiska w rezultacie skażenia go nuklidami promieniotórczymi należy znaleźć odpowiedź na takie pytania jak:

- w jaki sposób w toku działań zbrojnych może dojść do skażenia środowiska?
- jakie powierzchnie mogą ulec skażeniu i na jaki okres?
- jakie mogą być skutki skażenia środowiska dla roślin, zwierząt i człowieka?

Źródła skażeń promiemiotwórczych środowiska

Z dotychczasowych ustaleń wynika, że w toku działań zbrojnych może dojść do skażenia środowiska w przypadku użycia broni jądrowej przez jedną lub obydwie strony konfliktu oraz w przypadku awarii reaktora jądrowego .

W przypadku użycia broni jądrowej skażenie środowiska powstaje w rezultacie oddziaływania nań dwu czynników rażenia - promieniowania przenikliwego, nazywanego niekiedy w literaturze promieniowaniem początkowym oraz promieniotwórczego skażenia terenu nazywanego promieniowaniem resztkowym.

Promieniowanie przenikliwe to strumień promieni gamma i neutronów emitowany podczas wybuchu jądrowego. Źródłem większej części promieniowania gamma i neutronów są reakcja jądrowa i powstające w toku tej reakcji produkty rozszczepienia paliwa jądrowego. Niektóre z nich emitują neutrony, zaś duża ich część promieniowanie gamma. Czas emisji ponad 90 % neutronów mierzy się czasem trwania reakcji jądrowej (milionowe części sekundy), zaś czas emisji pozostałej części neutronów i promieniowania gamma nie przekracza kilkunastu

sekund. Promieniowanie przenikliwe rozchodzące się w ośrodku (powietrze) ulega stopniowo osłabieniu. Jego maksymalny zasięg nie zależnie od mocy wybuchu nie przekracza z reguły 2 km. Rozchodzące się promieniowanie przenikliwe powoduje, po napotkaniu nuklidów wielu pierwiastków, ich aktywację - zjawisko polegające na wzbudzeniu w nich zdolności do wysyłania promieniowania beta i gamma. Wzbudzone nuklidy promieniotwórcze mogą być istotnym źródłem skażeń promieniotwórczych.

Drugim źródłem skażeń może być już wspomniane promieniotwórcze skażenie terenu. Jest ono czynnikiem rażenia, który występuje przy powietrznych, naziemnych i tzw otwartych podziemnych wybuchach jądrowych. Skażenie terenu jest rezultatem wypadania z obłoku promieniotwórczego nuklidów promieniotwórczych. Produkty promieniotwórcze zawarte w obłoku mają początkowo postać par i gazów, a po wystygnięciu przyjmują postać zawieszonych w obłoku powybuchowym twardych cząstek promieniotwórczych o różnej wielkości. Oprócz produktów wybuchu obłok promieniotwórczy zawiera parę wodną, pył znajdujący się w powietrzu oraz - podczas naziemnych i niskich powietrznych wybuchów jądrowych - pył unicsiony z ziemi przez wstępujące prądy powietrza. Pył emitowany z reaktora jądrowego zawiera produkty gazowe, płynne i stałe, które po ochłodzeniu mają postać aerozolu.

Proces kształtowania sie obłoku promieniotwórczego zależy od rodzaju wybuchu.

Podczas wybuchów powietrznych w końcowym etapie tworzy się kula ognista. Pojawiają się na jej powierzchni ciemne kłęby dymu i kula ognista stopniowo przekształca się w ogromny, kłębiący się obłok powybuchowy. Centralna, bardziej rozgrzana część obłoku unosi się do góry nieco szybciej niż warstwy zewnętrzne, które są zatrzymy-

wane przez otaczające powietrze. Na skutek tego zawarte w obłoku gazy poruszają się ruchem wirowym po obwodzie koła, a obłok przybiera kształt ogromnego wirującego pierścienia. Wznoszenie się obłoku i silne nagrzanie przyziemnej warstwy powietrza w rejonie przyległym do punktu zerowego powoduje szybki wstępujący ruch powietrza w kierunku wznoszenia sie obłoku. W rejonie wybuchu ma również miejsce ruch powietrza wzdłuż powierzchni ziemi, skierowany do środka wybuchu. Wznoszący się ku górze strumień powietrza unosi z powierzchni ziemi olbrzymią ilość pyłu i przybiera kształt potężnego słupa pyłu o średnicy dochodzącej do tysiąca i więcej metrów. Podczas naziemnych i niskich powietrznych wybuchów jądrowych słup pyłu szybko dogania unoszący się obłok i łączy z nim. Powstaje wtedy charakterystyczny dla wybuchów jądrowych obłok podobny do grzyba.

Podczas wybuchów wykonywanych na dużej wysokości słup pyłu może się nie połączyć z obłokiem. Obłok promieniotwórczy wznosi się tak długo, aż jego gęstość w wyniku ochłodzenia zrówna się z gęstością otaczającego powietrza i ustanie działanie siły wznoszącej. Czas wznoszenia się obłoku na maksymalną wysokość wynosi od 5 do 10 minut. Wysokość na jaką wznosi się obłok i jego rozmiary zależą od mocy wybuchu.

Podczas wybuchów naziemnych, w miejscu zetknięcia się kuli ognistej z ziemią, na skutek olbrzymiego ciśnienia i temperatury, zewnętrzna warstwa ziemi ulega rozdrobieniu, stopieniu i częściowemu wyparowaniu mieszając się z promieniotwórczymi produktami wybuchu. Znaczna część ziemi zostaje zassana do obłoku przez silne wstępujące prądy powietrza. Część stopionej ziemi po ochłodzeniu zmienia się w szklisty, silnie promieniotwórczy żużel barwy ciemnej lub szarej. Żużel ten pokrywa powierzchnię ziemi w promieniu kilkuset metrów od punktu zerowego. Charakterystyczną cechą wybuchu naziemnego

jest tworzenie się na powierzchni ziemi bardzo silnych prądów powietrznych, które powodują powstanie znacznie większej chmury pyłowej i słupa pyłu niż podczas wybuchu powietrznego. Słup pyłu łączy się z obłokiem wybuchu w wyniku czego do obłoku zostaje wciągnięta znaczna ilość pyłu ziemnego nadającego obłokowi ciemną barwę. Rozmiary i czas wznoszenia się obłoku promieniotwórczego po naziemnym wybuchu jądrowym przedstawiono w tabeli 4. Z danych zamieszczonych w tabeli wynika, że podczas wybuchów jądrowych małej i średniej mocy obłok pyłowy unosi się do troposfery, zaś przy wybuchach dużej i wielkiej mocy do stratosfery[4]. Średnica ukształtowanej czaszy, w zależności od mocy wybuchu może się wahać od kilku do kilkudziesięciu kilometrów.

Jeżeli wybuch jądrowy nastąpił na powierzchni ziemi lub na niewielkiej wysokości, to na ziemi powstaje olbrzymi lej, wokół którego wyniszczona ziemia tworzy dość wysoki wał. Kształt i rozmiary leja zależą m.in. od mocy wybuchu, głębokości na której umieszczono i zdetonowano ładunek jądrowy oraz od rodzaju gruntu. Rozmiary leja podano w tabeli 5. Podczas otwartych podziemnych wybuchów jądrowych powstające pary i gazy zostają wyrzucone na powierzchnię ziemi, unosząc na dużą wysokość olbrzymią ilość rozdrobnionej ziemi, częściowo stopionej i wymieszanej z promieniotwórczymi produktami wybuchu, po czym tworzy się olbrzymi słup pyłu i ziemi. W miejscu wybuchu powstaje lej. Wysokość słupa pyłu i ziemi może dochodzić do kilkuset metrów. Słup ten ma ciemniejsze zabarwienie niż obłok wybuchu naziemnego. Podczas wybuchu podziemnego ukształtowany obłok ma kształt odwróconego stożka.

---

4. Skażenie powstające w wyniku opadania pyłu promieniotwórczego, który unosi się do troposfery i stratosfery zostaną omówione w oddzielnym podrozdziale.

Po osiągnięciu maksymalnej wysokości słup pyłu i ziemi rozpada się. Opadające na powierzchnię ziemi bardzo rozdrobnione cząstki tworzą w powietrzu jak gdyby jednorodną mieszaninę. W związku z tym u podstawy słupa kłębi się kolista chmura nazwana falą u podstawy wybuchu podziemnego. Maksymalny jej promień podczas bezwietrznej pogody może dochodzić do kilku kilometrów.

Tabela 4

Rozmiary i czas wznoszenia się obłoku promieniotwórczego po naziemnym wybuchu jądrowym

| Moc wybuchu (kt) | Maksymalna wysokość wzniesienia sie obłoku (km) | Średnica czaszy obłoku (km) | Czas wznoszenia się obłoku na maksymalną wysokość (min) |
|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 2 | 9 |
| 2 | 4,5 | 2,5 | 9 |
| 3 | 5 | 3 | 9 |
| 5 | 6 | 3,5 | 9 |
| 10 | 7 | 4,5 | 9 |
| 20 | 8 | 5,5 | 9 |
| 30 | 9 | 6 | 9 |
| 50 | 10 | 7 | 9 |
| 75 | 11 | 8 | 9 |
| 100 | 12 | 9 | 9 |
| 150 | 13 | 10,5 | 8,6 |
| 200 | 14 | 12 | 8,3 |
| 300 | 15 | 13 | 8,0 |
| 400 | 16 | 14,5 | 7,7 |
| 500 | 17 | 16 | 7,5 |
| 750 | 18 | 18 | 7,1 |
| 1000 | 19 | 20 | 6,8 |
| 1300 | 20 | 21,7 | 6,5 |
| 1600 | 21 | 23,4 | 6,3 |
| 2000 | 22 | 25 | 6,1 |
| 2500 | 23 | 27,5 | 5,9 |
| 3000 | 24 | 30 | 5,8 |
| 3700 | 25 | 31 | 5,6 |
| 4300 | 26 | 33 | 5,4 |
| 5000 | 27 | 34 | 5,2 |
| 6300 | 28 | 36 | 5,1 |
| 7600 | 29 | 38 | 4,9 |
| 8800 | 30 | 40 | 4,8 |
| 10000 | 31 | 43 | 4,6 |

Źródło: Instrukcja o działaniu posterunków podczas obserwacji wybuchów jądrowych i wykrywania skażeń, Wyd. MON, warszawa 1977, załącznik 1.

Tabela 5

Orientacyjne rozmiary leja po naziemnych wybuchach jądrowych (grunty piaszczyste)

| Moc ładunku jądrowego (kt) | Rozmiary leja (m) | |
|---|---|---|
| | Średnica | Głębokość |
| 1 | 35 | 6 |
| 10 | 75 | 12 |
| 50 | 130 | 20 |
| 100 | 160 | 25 |
| 500 | 280 | 45 |
| 1000 | 350 | 60 |
| 5000 | 600 | 100 |

Źródło: Hoffmann M, Kernwaffen und Kernwaffenschutz, Berlin 1972, str 102

Uwaga: Przy innych rodzajach gruntu rozmiary leja mogą znacznie odbiegać od podanych w tabeli.

W każdym przypadku z utworzonego obłoku promieniotwórczego oraz uniesionego słupa pyłowego, pod wpływem działania siły ciężkości, zaczynają wypadać promieniotwórcze produkty wybuchu. Największe cząstki wypadają na powierzchnię ziemi przede wszystkim w pobliżu rejonu wybuchu. Duża część pyłu promieniotwórczego ma stosunkowo niewielkie rozmiary i ciężar, wskutek czego przemieszcza się zgodnie z kierunkiem powietrza i opada na ziemię znacznie później. Ponieważ na wysokości kilku czy kilkunastu kilometrów wieją silne wiatry, których prędkość dochodzi do 100 i więcej kilometrów na godzinę, pył promieniotwórczy pokrywa ogromne strefy. W ten sposób powstaje pas terenu skażonego, który nazwano śladem obłoku promieniotwórczego.

## Charakterystyka stref skażonych na śladzie obłoku promieniotwórczego

Teren skażony na śladzie obłoku promieniotwórczego dzieli się umownie na strefy[5]. W przypadku skażeń powstałych po wybuchach jądrowych wyróżnia się cztery strefy, a w przypadku skażeń powstałych w wyniku awarii reaktorów jądrowych pięć stref. Charakterystyki skażenia w obydwu przypadkach przedstawiono odpowiednio w tabelach 6 i 7.

Strefa zagrożenia promieniotwórczego (strefa "M") występuje tylko po awarii reaktora jądrowego. Rekomenduje się ograniczenie czasu przebywania żołnierzy (osób cywilnych) w tej strefie jeżeli nie jest to szczególnie uzasadnione (np. praca przy usuwaniu awarii reaktora). Dla potrzeb taktycznych ocen skażeń w wojskach strefy tej na mapy nie wrysowuje się.

Strefy umiarkowanego skażenia (strefa "A"), silnego skażenia (strefa "B"), niebezpiecznego skażenia (strefa "C") i szczególnie niebezpiecznego skażenia (strefa "D") powstają zarówno po wybuchach jądrowych jak i po awariach reaktorów jądrowych.

Strefa umiarkowanego skażenia (strefa "A") stanowi ponad 50 % skażonego terenu. Przebywając w niej, w ciągu pierwszych dni po jej powstaniu, nie ukryci żołnierze (osoby cywilne) mogą pochłonąć dawki powodujące utratę zdolności bojowej. Działając jednak na samochodach i transporterach opancerzonych, a także chroniąc się w rowach strzeleckich, okopach i budynkach takich dawek nie pochłaniają. Poza zewnętrzną granicą strefy "A" ludzie nie utracą zdolności bojowej nawet wtedy, gdy będą poza ukryciami.

---

5. Podstawą podziału jest całkowita dawka promieniowania liczona od czasu powstania promieniotwórczych produktów wybuchu do ich całkowitego rozpadu.

Strefa silnego skażenia (strefa "B") zajmuje około 20 - 25 % skażonego terenu. Niebezpieczeństwo porażenia ludzi w tej strefie jest duże. W terenie odkrytym w ciągu pierwszych 12 godzin po opadnięciu substancji promieniotwórczych mogą utracić zdolność bojową (do pracy). Należy liczyć się z przypadkami śmierci. Liczba przypadków śmiertelnych zależy od czasu przebywania w skażonym terenie i rodzaju ukryć. W związku z tym w tej strefie zagadnieniu ochrony ludzi przed napromieniowaniem należy poświęcić więcej uwagi.

Strefa niebezpiecznego skażenia (strefa "C") może objąć do 15% skażonego terenu. Osoby przebywające na terenie odkrytym mogą ulec ciężkim porażeniom nawet podczas krótkotrwałego działania, szczególnie w ciągu pierwszych dni po wybuchu. Jedynie przebywanie w schronach i ukryciach oraz bardzo krótkie działanie w tej strefie może ograniczyć napromieniowanie.

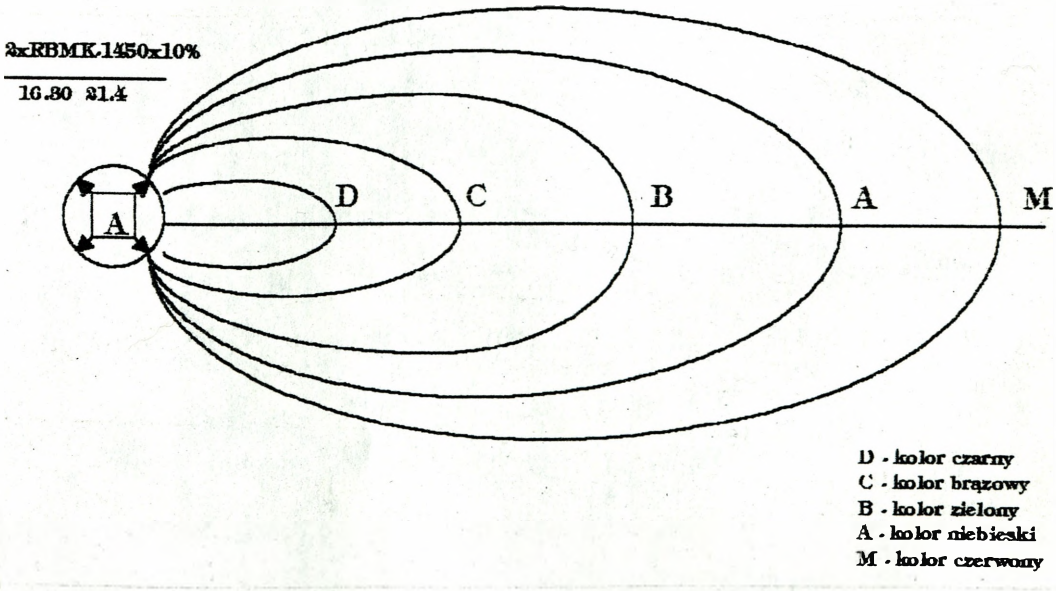
Strefa szczególnie niebezpiecznego skażenia (strefa "D") obejmuje obszar nie przekraczający 10 % skażonego terenu. Osoby przebywające w tej strefie w ciągu pierwszych godzin po wybuchu, nawet podczas przebywania w murowanych domach lub działania w czołgach zostają porażone. Przebywanie w tej strefie poza ukryciami przez 6 - 8 godzin bez poważnych konsekwencji dla zdrowia i życia możliwe jest nie wcześniej niż po 3 - 4 dniach po wybuchu.

Strefy skażone wrysowuje się na mapy i szkice terenu. Wyznacza się przy tym strefy prawdopodobnego skażenia i rzeczywiste strefy skażeń. Obraz graficzny stref prawdopodobnego skażenia przedstawiono na rysunkach umieszczonych odpowiednio nad tabelami 6 i 7.

Strefy prawdopodobnego skażenia wrysowane na mapę lub szkic w toku prognozowania skażeń służą do podejmowania wstępnych decyzji dotyczącej ochrony radiologicznej wojsk (ludności cywilnej) takich jak: ewakuacja ludzi ze stref skażonych, ukrycie ich w ist-

niejących schronach lub budynkach, wykonywanie prac w strefach skażonych, przekraczanie stref skażeń itp.

W oparciu o wyniki rozpoznania skażeń na mapach (szkicach) rysuje sie rzeczywiste strefy skażeń. Ich granice mogą, ale nie muszą pokrywać się z granicami stref prawdopodobnego skażenia. Znajomość stref rzeczywistych skażeń jest podstawą do podejmowania ostatecznych decyzji dotyczących ochrony radiologicznej ludzi.

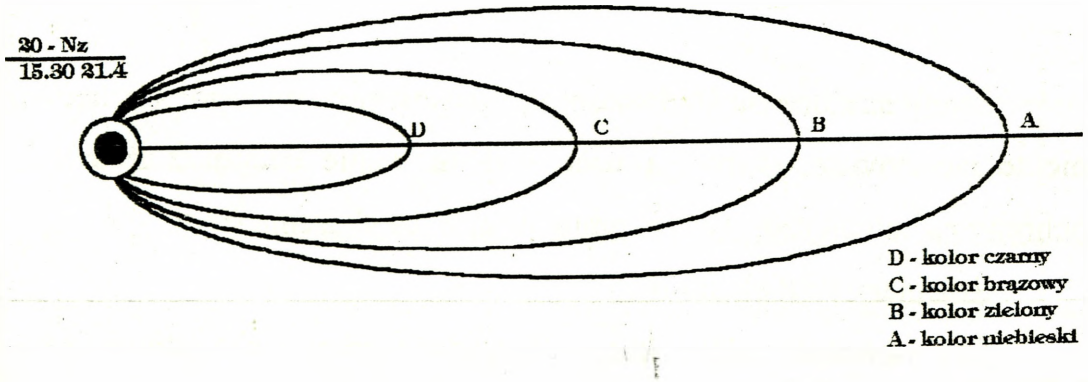



Rys. 1. Graficzny obraz stref prawdopodobnego skażenia po awarii reaktora jądrowego

Tabela 6

Charakterystyka stref promieniotwórczego skażenia terenu po awarii reaktora jądrowego

| Nazwa strefy | Oznaczenie strefy | Dawka promieniowania pochłoniętej w ciągu pierwszego roku po awarii (cGy) | | | Moc dawki przeliczona na 1 godz. po awarii (cGy) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Na granicy zewnętrznej | Na granicy wewnętrznej | W środku strefy | Na granicy zewnętrznej | Na granicy wewnętrznej |
| Zagrożenia promieniotwórczego | M | 5 | 50 | 16 | 0,014 | 0,14 |
| Umiarkowanego skażenia | A | 50 | 500 | 160 | 0,14 | 1,4 |
| Silnego skażenia | B | 500 | 1500 | 866 | 1,4 | 4,2 |
| Niebezpiecznego skażenia | C | 1500 | 5000 | 2740 | 4,2 | 14,0 |
| Szczególnie niebezpiecznego skażenia | D | 5000 | - | 9000 | 14,0 | - |




Rys. 2. Graficzny obraz stref prawdopodobnego skażenia promieniotwórczego po naziemnych wybuchach jądrowych

Tabela 7

Charakterystyka stref promieniotwórczego skażenia terenu po wybuchach jądrowych

| Nazwa strefy | Oznaczenie strefy | Dawki promieniowania pochłonięte w czasie całkowitego rozpadu substancji promieniotwórczych (cGy) | | | Moc dawki promieniowania na 1 godz po wybuchu (cGy) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Na granicy zewnetrznej | Na granicy wewnetrznej | W środku strefy | Na granicy zewnetrznej | Na granicy wewnetrznej |
| Umiarkowanego skażenia | A | 40 | 400 | - | 8 | 80 |
| Silnego skażenia | B | 400 | 1200 | - | 80 | 240 |
| Niebezpiecznego skażenia | C | 1200 | 4000 | - | 240 | 800 |
| Szczególnie niebezpiecznego skażenia | D | 4000 | - | 7000 | 800 | >800 |

Opracowano na podstawie : Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, wyd. MON, Warszawa, 1991.

Strefy skażone na śladzie obłoku promieniotwórczego, szczególnie te rzeczywiste, ułatwiają więc podejmowanie decyzji z zakresu ochrony radiologicznej. Wyznaczają też granice skażenia środowiska.

Rozmiary stref skażonych

Dla rozważań o dewastacji i degradacji środowiska istotne jest określenie rozmiarów terenu skażonego. Określono je na podstawie doświadczalnych wybuchów jądrowych oraz symulacji komputerowej. Można je dziś odczytać z odpowiednich specjalistycznych opracowań. Przestawiono je w tabelach 8 i 9.

Tabela 8

## Rozmiary prognozowanych stref skażonych na śladzie obłoku promieniotwórczego

(przy średniej prędkości wiatru 50 km/h)

| Moc wyb. (kt) | Strefy skażone przy wybuchu | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | naziemnym | | | | powietrznym | | podziemnym | | | |
| | A | B | C | D | A | B | A | B | C | D |
| 0,01 | 1<br>0,2 | - | - | - | - | - | 2<br>1,2 | - | - | - |
| 0,05 | 3,3<br>1,2 | - | - | - | - | - | 4,7<br>1,7 | 1<br>0,7 | - | - |
| 0,1 | 4,9<br>1,7 | - | - | - | 1,3<br>0,1 | - | 6,6<br>2 | 1,7<br>1 | - | - |
| 0,5 | 12<br>3,3 | - | - | - | 4,5<br>1,2 | - | 14<br>3,1 | 4,4<br>1,3 | 2<br>0,6 | - |
| 1 | 17<br>4,2 | 3<br>0,8 | - | - | 6,9<br>1,7 | - | 20<br>4,1 | 6,4<br>1,9 | 3,2<br>1,1 | 0,9<br>0,3 |
| 5 | 38<br>6,7 | 9,8<br>2,4 | 2,3<br>0,1 | - | 16<br>3,1 | - | 43<br>6,2 | 15<br>3,2 | 8,3<br>2,1 | 3,6<br>1,2 |
| 10 | 54<br>8,3 | 15<br>3,3 | 5,6<br>1,3 | - | 24<br>3,9 | - | 60<br>7,6 | 21<br>3,9 | 12<br>2,7 | 5,6<br>1,7 |
| 20 | 72<br>9,2 | 20<br>3,7 | 7,9<br>1,6 | - | 31<br>4,2 | - | 79<br>8,3 | 28<br>4,3 | 16<br>3 | 7,5<br>1,9 |
| 50 | 115<br>12 | 34<br>5,1 | 15<br>2,9 | - | 52<br>5,8 | - | 125<br>11 | 44<br>5,5 | 25<br>3,9 | 13<br>2,7 |
| 100 | 165<br>16 | 52<br>6,4 | 24<br>3,8 | - | 79<br>7,4 | - | 175<br>14 | 65<br>6,7 | 37<br>4,8 | 19<br>3,4 |
| 200 | 245<br>20 | 78<br>8 | 39<br>5 | 12<br>2,2 | 120<br>9,5 | - | | | | |
| 500 | 350<br>29 | 125<br>12 | 65<br>7,3 | 24<br>4 | 195<br>14 | - | | | | |
| 1000 | 450<br>31 | 150<br>12 | 75<br>7,8 | 26<br>4,2 | 225<br>15 | - | | | | |
| 2000 | 615<br>42 | 210<br>16 | 110<br>10 | 43<br>6,2 | 325<br>20 | 22<br>0,3 | | | | |
| 5000 | 940<br>65 | 335<br>24 | 180<br>15 | 78<br>9,7 | 535<br>32 | 67<br>5,1 | | | | |
| 10000 | 1290<br>90 | 470<br>33 | 260<br>20 | 120<br>13 | 775<br>46 | 118<br>8,6 | | | | |

Źródło danych do tab.8: Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, Wyd. MON Warszawa 1991.
Uwaga: Wielkość górna - długość strefy (km)
Wielkość dolna - maksymalna szerokość strefy (km)

Tabela 9

## Rozmiary prognozowanych stref skażeń promieniotwórczych terenu na śladzie obłoku po awarii reaktora jądrowego

(przy uwolnieniu z reaktora 10 % produktów radioaktywnych)

| Pionowa stateczność powietrza | Prękość średniego wiatru (m/s) | Oznaczenie strefy | Typ reaktora | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | RBMK- 1000 | | | WWER - 1000 | | |
| | | | Długośc (km) | Szerokość (km) | Powierzchnia (km2) | Długość (km) | Szerokość (km) | Powierzchnia (km2) |
| Konwekcja | 2 | M | 140 | 29,9 | 3290 | 185 | 40,2 | 5850 |
| | | A | 28 | 5,97 | 131 | 39,4 | 6,81 | 211 |
| | | B | 6,88 | 0,85 | 4,6 | - | - | - |
| | | C | - | - | - | - | - | - |
| | | D | - | - | - | - | - | - |
| Izotermia | 5 | M | 270 | 18,2 | 3860 | 155 | 8,76 | 1070 |
| | | A | 75 | 3,92 | 231 | 29,5 | 1,16 | 26,8 |
| | | B | 17,4 | 0,69 | 9,4 | - | - | - |
| | | C | 5,8- | 0,11 | 0,52 | - | - | - |
| | | D | - | - | - | - | - | - |
| | 10 | M | 272 | 14 | 3080 | 110 | 5,33 | 460 |
| | | A | 60 | 2,45 | 115 | 19 | 0,58 | 8,75 |
| | | B | 11 | 0,32 | 3,02 | - | - | - |
| | | C | - | - | - | - | - | - |
| | | D | - | - | - | - | - | - |
| Inwersja | 5 | M | 241 | 7,86 | 1490 | 76 | 2,58 | 154 |
| | | A | 52 | 1,72 | 71 | - | - | - |
| | | B | - | - | - | - | - | - |
| | | C | - | - | - | - | - | - |
| | 10 | M | 239 | 6,81 | 1280 | 73 | 2,10 | 118- |
| | | A | 42 | 1,18 | 38 | - | - | - |
| | | B | - | - | - | - | - | - |
| | | C | - | - | - | - | - | - |
| | | D | - | - | - | - | - | - |

Uwagi: Prędkość wiatru średniego określa się w warstwie powietrza od powierzchni ziemi do wysokości przemieszczania się centrum obłoku.

Tabelę zestawiono na podstawie danych zawartych w "Metodyce oceny sytuacji skażeń po awarii elktrowni jądrowej", wyd. MON Warszawa 1992.

Opady atmosferyczne w postaci deszczu i śniegu mogą przyczyniać się do wytrącania znaczej ilości substancji promieniotwórczych z obłoku i tym samym wpływać na skażenie środowiska. Również wpływ warunków terenowych jest podobny.

Rozmiary stref skażeń promieniotwórczych terenu na śladzie obłoku promieniotwórczego po awarii reaktora jądrowego zależą z kolei od;

- ilości uwolnionych z reaktora produktów radioaktywnych;
- kategorii pionowej stateczności powietrza;
- prędkości średniego wiatru w warstwie powietrza od wysokości ziemi do wysokości przemieszczania się centrum obłoku;
- typu reaktora jądrowego i jego mocy.

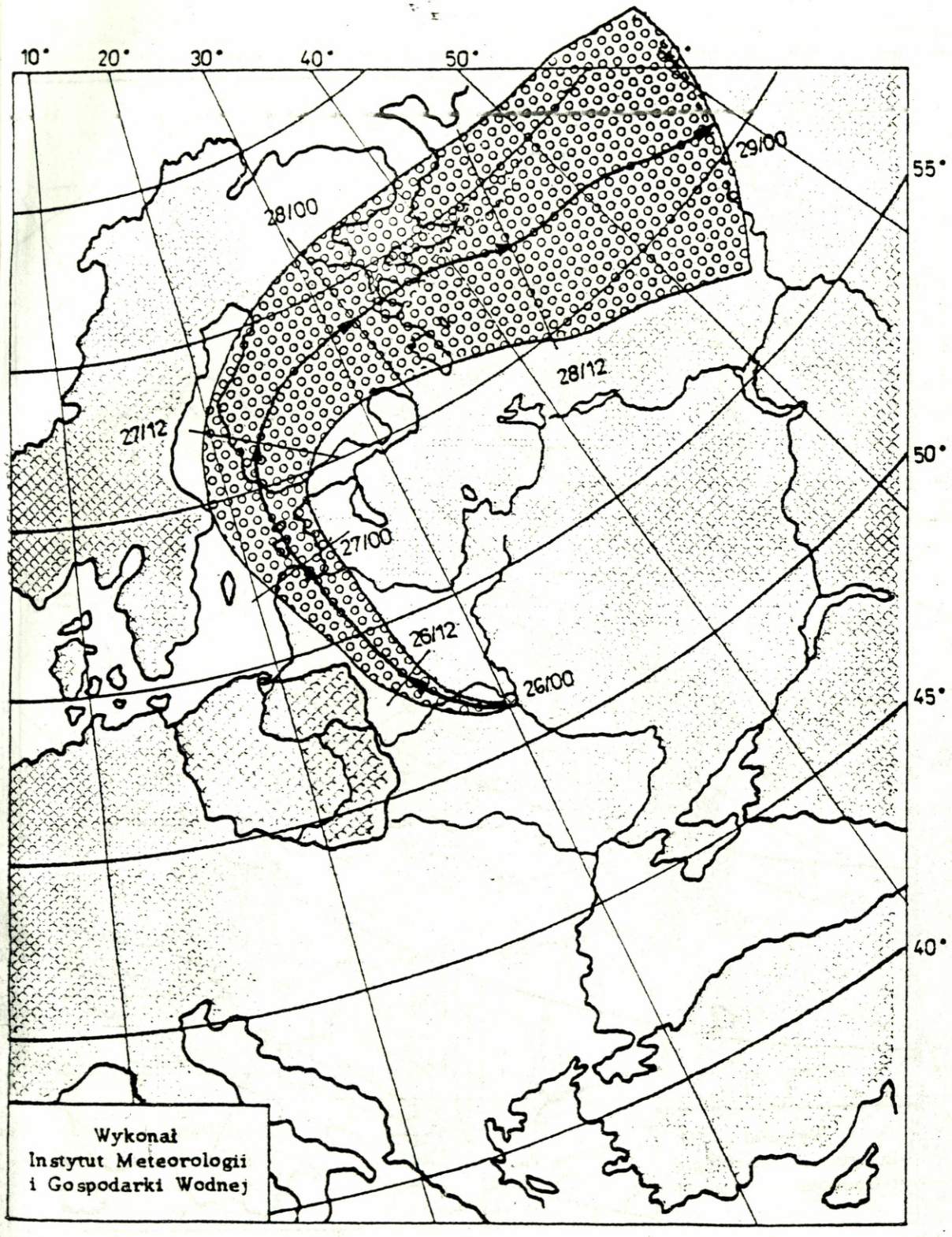
Obudowa w postaci oddzielnego budynku, w którym znajduje się reaktor jądrowy może, jak wynika to z praktyki, zapobiec wydostaniu się środków promieniotwórczych z reaktora na zewnątrz i skażeniu środowiska.

Wraz ze zwiększeniem ilości uwolnionych z reaktora środków radioaktywnych zwiększają się rozmiary liniowe poszczególnych stref skażonych. Zależą one od kategorii pionowej stateczności powietrza, przy czym najmniejsze są w warunkach występowania konwekcji, zwiększają się w warunkach inwersji, zaś największe są w warunkach izotermii. Ma to związek z przemieszczaniem się mas skażonego powietrza w atmosferze. Prędkość średniego wiatru wywiera stosunkowo niewielki wpływ na rozprzestrzenianie się skażeń. Skażenia zależą oczywiście od typu reaktora, jego mocy oraz budowy.

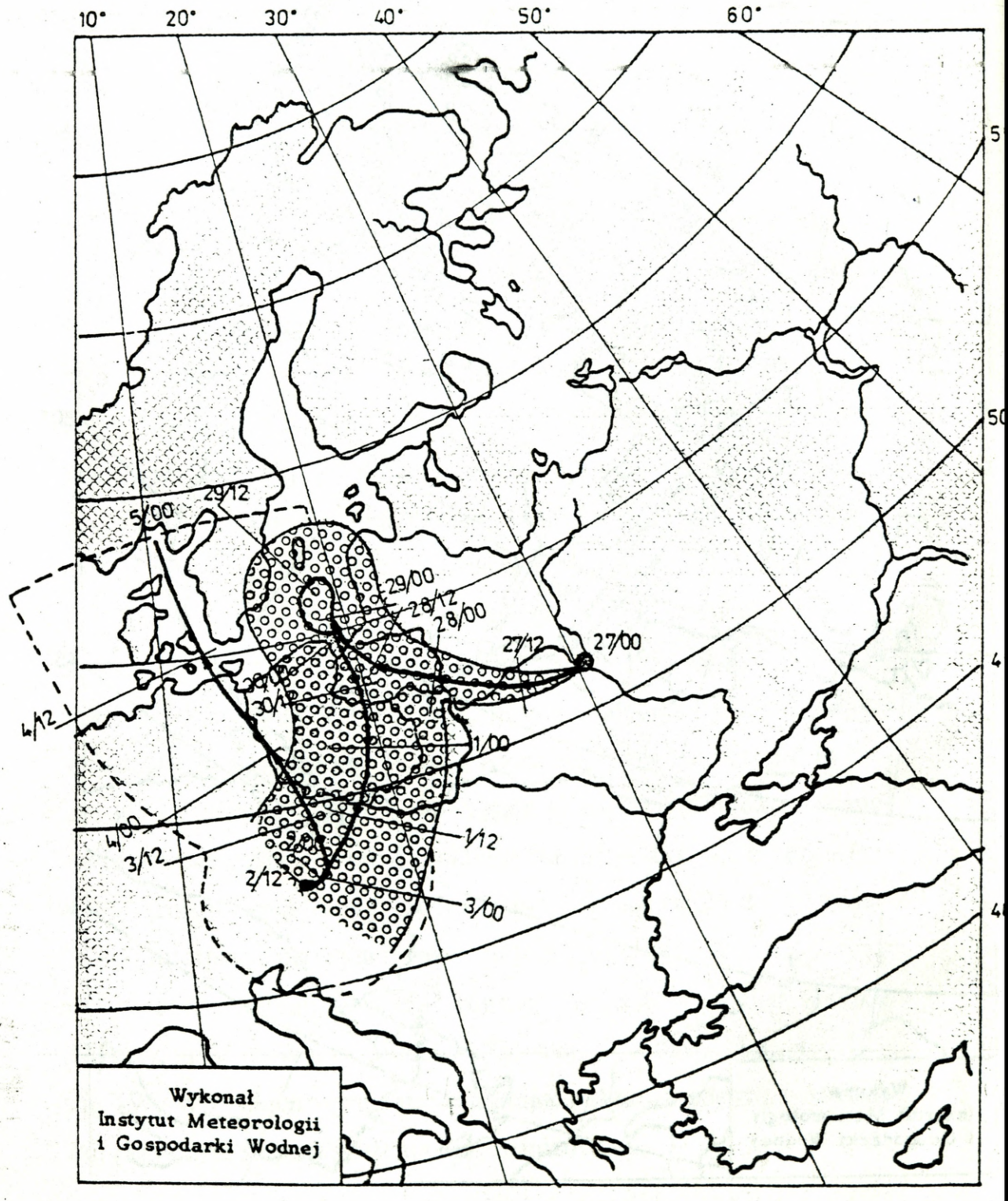
Z danych zamieszczonych w tabeli 9 wynika, że strefa zagrożenia promieniotwórczego może objąć powierzchnie rzędu tysięcy kilometrów kwadratowych. Zdecydowanie mniejsze są powierzchnie umiarkowanych skażeń (setki $km^2$) oraz silnych skażeń (dziesiątki

km²). Strefy silnych i niebezpiecznych skażeń mogą w ogóle nie występować.

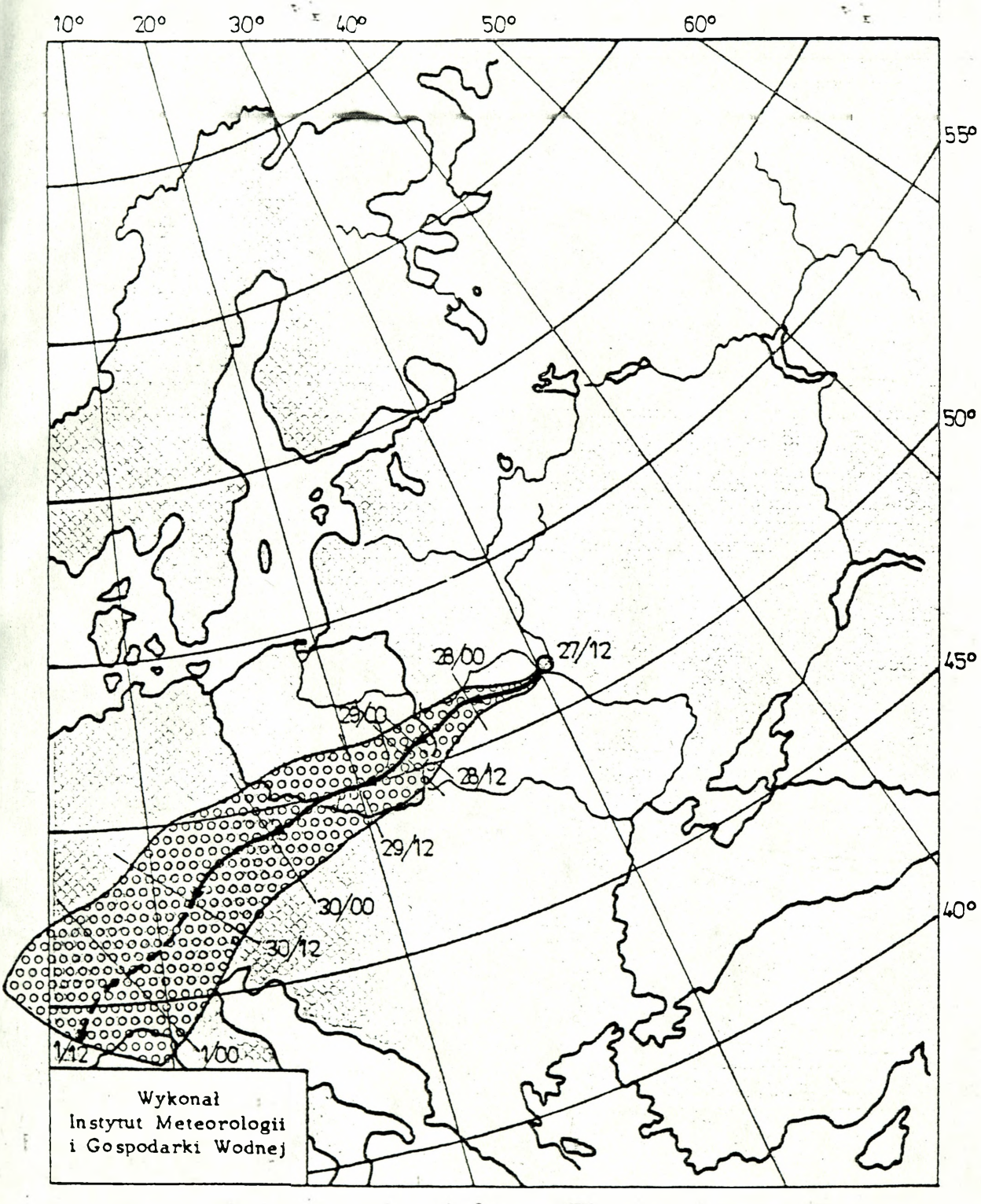
Awaria reaktora jądrowego może trwać kilka a nawet kilkanaście dni. W tym czasie może zmienić się kierunek średniego wiatru. Wraz ze zmianą kierunku wiatru powstają nowe strefy skażeń. Np. w czasie awarii reaktora jądrowego w Windscale w Wielkiej Brytanii, która miała miejsce 10 października 1957r. wydzielający się z reaktora obłok promieniotwórczy dotarł z Anglii do Francji, Austrii, Belgii, Szwajcarii, Czechosłowacji, a nawet Norwegii. W tych odległych krajach skażenie promieniotwórcze było niewielkie. W samej jednak Anglii sytuacja była groźna. Setki tysięcy ludzi narażonych było na kontakt z nadmierną ilością substancji promieniotwórczych, Nas przestrzeni około 750 km², którą zamieszkiwało 10000 ludzi, promieniotwórczość gleby i roślin była tak wielka, że zakazano spożywania mleka i produktów zielonych pochodzących ze skażonego rejonu. Identyczna sytuacja miała miejsce po awarii reaktora jądrowego w Czernobylu, która miała miejsce 26 kwietnia 1986r. Obłok promieniotwórczy wydobywał się z reaktora przez pierwsze 10 dni. Kierunek witru zmienił się w tym czasie wielokrotnie. Wraz z nim zmieniła się droga obłoku promieniotwórczego emitowanego z reaktora. Na rysunkach 3 i 6 przedstawiono zmianę drogi "smugi" radiacyjnej w okresie od 26 do 30 kwietnia. Z informacji przedstawionych na rysunkach wynika, że skażenia objęły oprócz terenu b. ZSRR również Szwecję, Finlandię, Polskę, Niemcy, Austrię, Węgry, Włochy , Słowację, Rumunię, Bułgarię, Turcję. We wszystkich wymienionych krajach skażone zostało środowisko, przy czym stopień skażenia był zróżnicowany.



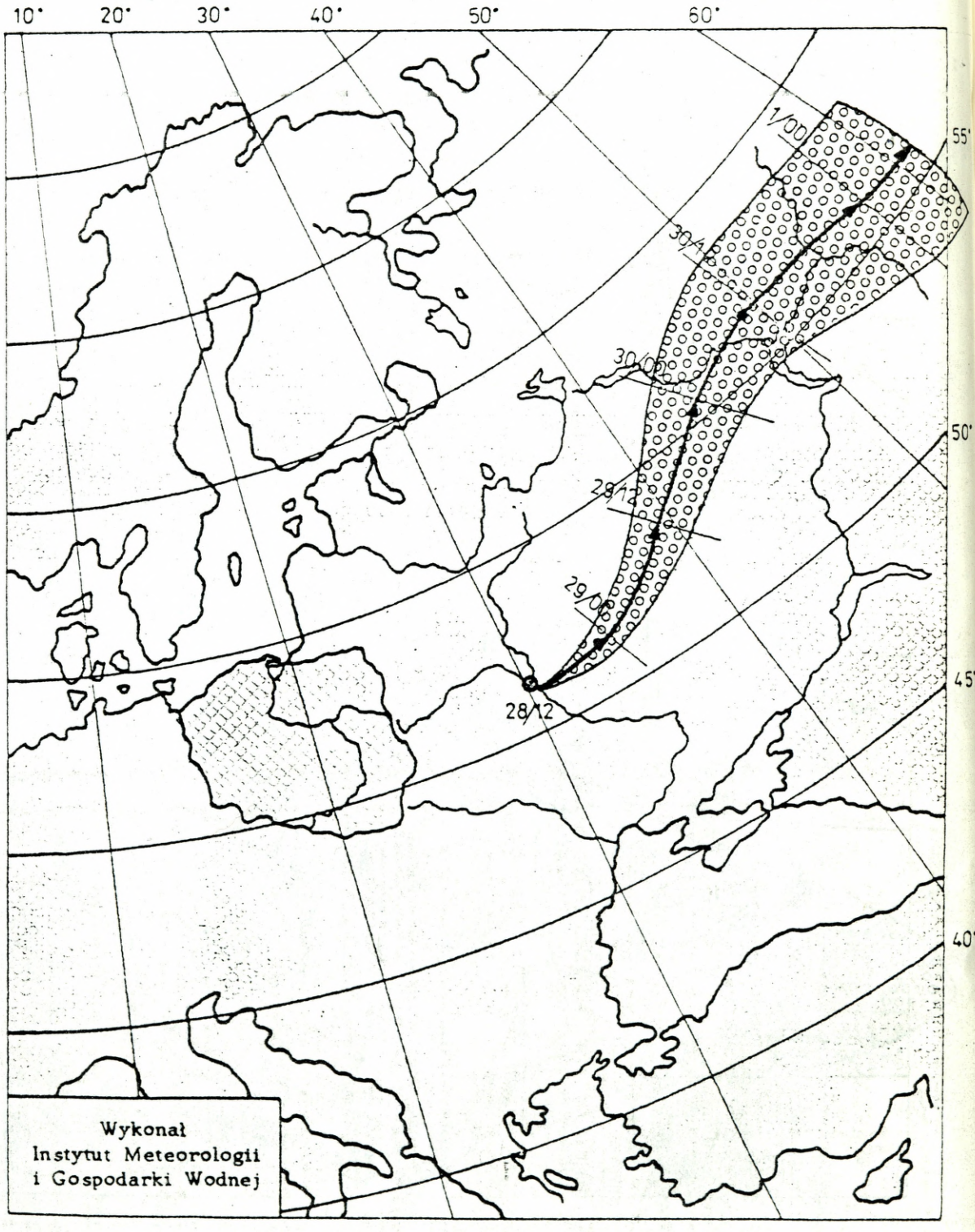

Rys. 3. Droga smugi radiacyjnej wyemitowanej w Czernobylu 26 kwietnia 1986 r. o godzinie 00.00 GMT




Rys. 4. Droga smugi radiacyjnej wyemitowanej w Czernobylu 27 kwietnia 1986 r. o godzinie 00.00 GMT




Rys. 5. Droga smugi radiacyjnej wyemitowanej w Czernobylu 27 kwietnia 1986 r. o godzinie 12.00 GMT




Rys. 6. Droga smugi radiacyjnej wyemitowanej w Czernobylu 28 kwietnia 1986 r. o godzinie 12.00 GMT

## Zawartość nuklidów promieniotwórczych w pyle skażającym środowisko

Nuklidy promieniotwórcze znajdujące się w obłoku promieniotwórczym pochodzą z trzech źródeł:

- nierozszczepione paliwo jądrowe;
- produkty rozszczepienia;
- promieniotwórczość wzbudzona, tzn. izotopy promieniotwórcze powstające w wyniku oddziaływania neutronów na materiały, z których jest wykonana amunicja jądrowa oraz na jądra atomów niektórych pierwiastków wchodzących w skład ziemi w rejonie wybuchu.

Podczas wybuchu jądrowego tylko część paliwa jądrowego uczestniczy w reakcji rozszczepienia. Ogrommna ilość energii wydzielająca się w wyniku jądrowych reakcji rozszczepienia powoduje rozproszenie nierozszczepionych nuklidów w przestrzeni otaczającej punkt zerowy wybuchu. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku awarii reaktora jądrowego. W rdzeniu reaktora używane jest paliwo jądrowe składające się z identycznych nuklidów promieniotwórczych - plutonu lub uranu. Różnica dotyczy jedynie zawartości nuklidów podlegających rozszczepieniu. Paliwo jądrowe używane w amunicji zawiera z reguły ponad 90 procent takich izotopów. Paliwo używane w reaktorach jądrowych jedynie kilka procent. Tym niemniej w razie awarii reaktora jądrowego do środowiska może się dostać część paliwa, która nie wzięła udziału w reakcji. Charakterystyczne właściwości niektórych nuklidów promieniotwórczych stanowiących nierozszczepione paliwo jądrowe przedstawiono w tabeli .10.

Z informacji zawartych w tabeli 10 wynika, że nierozszczepione nuklidy emitują promieniowanie alfa i gamma. Te ostatnie mają jednak małą energię i intensywność.

Tabela 10

Charakterystyka właściwości nuklidów promieniotwórczych stanowiących rozszczepialne paliwo jądrowe

| Nazwa radionuklidu | Symbol | Rodzaje emitowanego promieniowania | Okres połowicznego rozpadu (lata) | Średnia energia emitowanego promieniowania (MeV) | | Aktywność (Ci/kg) | Zachowanie się radionuklidu w organiźmie człowieka | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | E alfa | E gamma | | Organ krytyczny | Biologiczny czas cyrkulacji radionuklidów w organiźmie |
| Tor- 232 | $^{232}_{90}Th$ | alfa gamma | $1,4 \times 10^{10}$ | 3,98 | 0,06 | $1,1 \times 10^{-4}$ | Kości całe ciało | 200 lat 150 lat |
| Uran -233 | $^{233}_{92}U$ | alfa gamma | $1,6 \times 10^{5}$ | 4,8 | 0,04 | 9,5 | Całe ciało | 200 dni |
| Uran -235 | $^{235}_{92}U$ | alfa gamma | $7,1 \times 10^{8}$ | 4,4 | 0,13 | $2,1 \times 10^{-3}$ | Kości całe ciało | 300 dni 200 dni |
| Uran - 238 | $^{238}_{92}U$ | alfa gamma | $4,5 \times 10^{9}$ | 4,1 | 0,05 | $3,3 \times 10^{-4}$ | Kości całe ciało | 300 dni 200 dni |
| Pluton 239 | $^{239}_{94}Pu$ | alfa gamma | 2,4x10 | 5,1 | 0,04 | 6,0 | Kości całe ciało | 200 lat 178 lat |

Okres półrozpadu nuklidów promieniotwórczych stanowiących paliwo jądrowe jest bardzo długi i wynosi w przypadku uranu 235 - $7,1 \times 10^8$ lat, a plutonu 239 - $2,4 \times 10^4$ lat. W związku z długim okresem półrozpadu aktywność tych nuklidów jest mała (w porównaniu z innymi produktami promieniotwórczymi wybuchu) i mimo emitowania promieniowania alfa, które przy skażeniach wewnętrznych jest około 10 razy bardziej szkodliwe niż promieniowanie beta, to nierozszczepione paliwo jądrowe jako źródło promieniowania bezpośrednio zagrażające ludziom nie ma większego znaczenia. Rozpatrywane nuklidy skażają jednak środowisko na długi czas - od dziesiątków do miliardów lat. Mogą trafić do organizmów ludzi powodując negatywne skutki biologiczne.

Zasadnicza część substancji promieniotwórczych wytworzonych wskutek wybuchu jądrowego (reakcji zachodzących w reaktorze) pochodzi z produktów rozszczepienia. W czasie rozszczepienia jąder uranu lub plutonu powstaje wiele fragmentów, które tworzą mieszaninę produktów rozszczepienia (MPR). Istnieje około 40 możliwości rozdziału jąder ciężkiego pierwiastka. W procesie rozszczepienia tworzy się przy tym około 80 różnych fragmentów, z których znaczna część jest promieniotwórcza. Prawdopodobieństwo rozszczepienia jędra uranu na dwa fragmenty o jednakowej masie (rozszczepienie symetryczne) jest nikłe i w przybliżeniu wynosi 0,01 %. Proces rozszczepienia jąder uranu czy plutonu jest więc zazwyczaj asymetryczny. Jądra uranu 235 (lub uranu 238 jeżeli mamy do czynienia z jądrową reakcją trójfazową) oraz plutonu 239 po rozszczepieniu przeważnie tworzą lekkie fragmenty o liczbach masowych $A_1$ od 85 do 104 i ciężkie o liczbach masowych $A_2$ od 130 do 149.

Utworzone w czasie rozszczepienia jądra promieniotwórcze rozpadają się nadal, emitując promieniowanie beta i gamma. Wiele fragmentów rozszczepienia, zanim rozpadnie się do jądra trwałego, zwykle przechodzi kilka następujących po sobie przemian. Jak z powyższego wynika, produkty rozszczepienia stanowią mieszaninę bezpośrednich fragmentów rozszczepienia i wtórnych fragmentów ich rozpadu. Z uwagi na różne możliwości rozpadu jąder ciężkich i istnienie różnych łańcuchów przemian wtórnych, produkty rozszczepienia stanowią mieszaninę złożoną pod względem składu i zmienną w czasie. W mieszaninie produktów rozszczepienia występuje kilkaset różnych izotopów 35 pierwiastków, rozmieszczonych w środkowej części tablicy Mendelejewa z liczbami atomowymi (Z) od 30 do 64 (od cynku do gadolinu) i liczbami masowymi (A) od 65 do 160. Łącznie w wyniku rozszcze-

pienia i przemian wtórnych tworzy się ponad 700 izotopów 35 pierwiastków chemicznych. Wśród nich około 250 stanowią izotopy trwałe - niepromieniotórcze. Z upływem czasu w mieszaninie produktów rozszczepienia zmniejsza się zawartość nuklidów promieniotwórczych o krótkim okresie życia (np. J-134, J-133, J-132, Te-132, Sr-91, Sr-92, Ba-139, Y-92, Zr-97, Nb-97 i innych), a wzrasta zawartość nuklidów promieniotwórczych o dłuższym okresie półrozpadu (Sr-90, Ce-144, Ce-137 i innych). Charakterystyczne właściwości ważniejszych nuklidów powstających w procesie rozszczepienia jąder podczas wybuchów jądrowych i awarii reaktorów jądrowych przedstawiono w tabeli 11.

Wzbudzenie jąder atomów materiału, z którego zbudowany jest ładunek jądrowy i skorupa bomby, a także jąder atomów pierwiastków środowiska następuje w wyniku wychwytu neutronów uwolnionych w procesie rozszczepienia i syntezy. Większość nuklidów promieniotwórczych powstających w wyniku wychwytu neutronów rozpada się, emitując promieniowanie beta i gamma.

Podczas wybuchu naziemnego lub niskiego powietrznego promieniotwórczość wzbudzona występuje przede wszystkim w bezpośrednim sąsiedztwie wybuchu, a tylko część produktów przedostaje się do obłoku promieniotwórczego.

Intensywność i zasięg promiemniowania gamma, emitowanego przez produkty promieniotwórczości wzbudzonej w rejonie wybuchu zależą od składu chemicznego powierzchniowej warstwy ziemi. Skład ten może być różny, chociaż z praktycznego punktu widzenia znaczenie ma około 15 pierwiastków stanowiących ponad 99 % ciężaru powierzchniowej warstwy ziemi.

Tabela 11

## Charakterystyczne właściwości ważniejszych radionuklidów powstających w procesie rozszczepienia jąder podczas wybuchów jądrowych

| Nazwa radionukldu | Symbol | Rodzaj emitowanego promieniowania | Okres połowicznego rozpadu | Energia emitowanego promieniowania (MeV) | | Zachowanie się radionuklidów w organiźmie człowieka | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Beta (śr) | Gamma (śr) | Organ krytyczny | Biologiczny czas cyrkulacji radionuklidu | Efektywny czas przebywania radionuklidu w org |
| Krypton-85 | $^{85}_{36}Kr$ | β−, γ | 9,4 lat | 0,22 | 0,54 | - | - | - |
| Stront-89 | $^{89}_{38}Sr$ | β− | 53 dni | 0,57 | - | Kości<br>Całe ciało | 49 lat<br>35 lat | 51 dni<br>50,3 dnia |
| Stront-90 | $^{90}_{38}Sr$ | β | 19,9 lat | 0,20 | - | -"- | -"- | 18 lat<br>16 lat |
| Cyrkon-95 | $^{95}_{40}Zr$ | β−, γ | 65,3 dni | 0,17 | 0,72<br>0,23 | Kości, nerki śledziona<br>Całe ciało | 3 lata<br>2,5 roku<br>1,2 roku | 61 dni<br>60 dni<br>56 dni |
| Molibden-99 | $^{99}_{42}Mo$ | β−, γ | 67 godz | 1,1 | 0,18<br>0,78<br>0,74 | Kości | 150 dni | 2,8 dnia |
| Ruten-103 | $^{103}_{44}Ru$ | β−, γ | 42 dni | 0,07 | 0,50 | Mięśnie, nerki, wątroba, kości, całe ciało | 12 dni<br>16 dni<br>0,5 roku<br>16 dni | 9 dni<br>12 dni<br>30 dni<br>12 dni |
| Ruten-106 | $^{106}_{44}Ru$ | β− | 1 rok | 0,01 | - | -"- | -"- | 11,5 dnia<br>15 dni<br>0,4 roku<br>7,6 dnia |
| Ksenon-133 | $^{133}_{54}Xe$ | β−, γ | 5,3 dni | 0,01 | 0.08 | - | - | - |
| Cez-137 | $^{137}_{55}Cs$ | β−,γ | 33 lata | 0,18 | 0,66 | Mięśnie, wątroba, kości, całe ciało | 140 dni<br>90dni<br>140 dni<br>70 dni | 138 dni<br>89 dni<br>138 dni<br>40 dni |
| Jod-131 | $^{131}_{51}J$ | β−, γ | 8 dni | 0,21 | 0,37 | Tarczyca, całe ciało | 140 dni<br>138 dni | 8 dni<br>6,7 dnia |
| Bar-140 | $^{140}_{56}Ba$ | β−, γ | 12,8 dni | 0,27 | 0,54<br>0,03<br>0,16 | Całe ciało | 65 dni | 11 dni |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cer-141 | 141 Ce 58 | β−, γ | 30 dni | 0,15 | 0,15 | Kości, wątroba, nerki | 4 lat<br>0,8 roku<br>1,6 roku | 31 dni<br>29 dni<br>30 dni |
| Neo-dym-147 | 147 Nd 60 | β−, γ | 11 dni | 0,26 | 0,09<br>0,32<br>0,53 | Kości<br>wątroba<br>nerki | 4 lata<br>130 dni<br>1,8 roku | 11 dni<br>10 dni<br>11 dni |

Za najważniejsze uważa się promieniowanie gamma emitowane przez takie nuklidy promieniotwórcze jak sód-24 i żelazo -59. Udział poszczególnych nuklidów w całkowitej aktywności produktów promieniotwórczości wzbudzonej zależy od czasu jaki upłynął od wybuchu. W czasie pierwszych 15 minut przeważa promieniowanie glinu-28, a w okresie od 15 minut do 200 godzin - sodu-24. W czasie 2-10 godzin po wybuchu na tle promieniowania sodu-24 występuje także promieniowanie gamma manganu-56. Po upływie 200 godzin po wybuchu głównym źródłem promieniowania staje się żelazo-59. Pierwiastkiem, który zasługuje na większą uwagę jako produkt promieniotwórczości wzbudzonej jest sód. Mimo niewielkiej zawartości tego pierwiastka w środowisku (szczególnie w glebie) aktywność sodu promieniotwórczego Na-24 wytworzonego przez wychwyt neutronów może być znaczna. Okres półrozpadu sodu-24 wynosi 15 godzi. Podczas rozpadu jest emitowane promieniowanie beta i fotony gamma o dużej energii (1,4 i 2,8 MeV)

Charakterystyczne właściwości ważniejszych radionuklidów aktywowanych w czasie wybuchu jądrowego przedstawiono w tabeli 12.

Z danych zawartych w tabeli 12 wynika, że większość nuklidów promieniotwórczych, będących produktami promieniotwórczości wzbudzonej, szybko rozpada się w pierwszym okresie po wybuchu. Wpływa to w znacznym stponiu na aktywność ogólną. Po godzinie jej udział w całkowitej aktywności produktów wybuchu jądrowego nie ma większego znaczenia.

Tabela 12

## Charakterystyczne właściwości ważniejszych radionuklidów aktywowanych w czasie wybuchu jądrowego

| Nazwa radionuklidu | Symbol | Rodzaje emitowanego promieniowania | Okres połowicznego rozpadu | Energia emitowanego promieniowania (MeV) | | Właściwości przyswajania przez organizm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Beta (śr) | Gamma | Organ krytyczny | Biologiczny czas cyrkulacji w organiźmie | Efektywny czas przebywania w organiźmie |
| Węgiel-14 | $^{14}_{6}C$ | β– | 5568 lat | 0,05 | - | Tkanka tłuszczowa kości | 12 dni<br>40 dni | 12 dni<br>40 dni |
| Sód-24 | $^{24}_{11}Na$ | β–, γ | 14,9godz | 0,54 | 2,75<br>1,37 | całe ciało | 11 dni | 0,6 dni |
| Magnez-27 | $^{27}_{12}Mg$ | β–, γ | 9,45 min | 1,68 | 1,02;0,33<br>0,18 | - | - | - |
| Krzem-31 | $^{31}_{14}Si$ | β–, γ | 2,6 godz | 1,47 | 1,26 | - | - | - |
| Fosfor-32 | $^{32}_{15}P$ | β– | 14,5 dni | 0,69 | - | Kości<br>wątroba<br>całe ciało | 3,2 lat<br>18 dni<br>257 dni | 14,1 dni<br>8 dni<br>13,5 dni |
| Siarka-35 | $^{35}_{16}S$ | β– | 87,1 dni | 0,06 | - | Kości<br>całe ciało | 1,7 lat<br>1,2 lat | 76 dni<br>90 dni |
| Chlor-38 | $^{38}_{17}Cl$ | β–, γ | 37,7min | 1,39 | 2,16<br>1,60 | - | - | - |
| Argon-41 | $^{41}_{18}Ar$ | β–, γ | 1,8 godz | 0,4 | 1,29 | - | - | - |
| Potas-42 | $^{42}_{19}K$ | β–,γ | 12,5godz | 1,4 | 1,51<br>0,32 | Mięśnie<br>całe ciało | 58 dni<br>58 dni | 0,5 dni<br>0,5 dni |
| Wapń-45 | $^{42}_{20}Ca$ | β– | 153 dni | 0,08 | - | Kości<br>całe ciało | 49,4 lat<br>45 lat | 152 dni<br>152 dni |
| Mangan-56 | $^{56}_{25}Mn$ | β–,γ | 2,6 godz | 0,89 | 2,9; 2,6<br>2,1; 1,8;<br>0,84 | Wątroba<br>nerki<br>całe ciało | 25 dni<br>6,8 dni<br>17 dni | 0,1 dni<br>0,1 dni<br>0,11 dni |
| Żelazo-59 | $^{59}_{26}Fe$ | β–,γ | 45 dni | 0,12 | 1,29;<br>1,10;<br>0,19 | Wątroba<br>kości<br>całe ciało | 1,5 lat<br>4,4 lat<br>2,2 lat | 41,7 dni<br>44 dni<br>43 dni |
| Miedź-64 | $^{64}_{29}Cu$ | β–,β+,γ | 12,8godz | 0,13 | 1,34;<br>0,51 | całe ciało | 80 dni | 0,5 dni |

Neutrony rozszczepienia i syntezy oddziaływują również na atomy pierwiastków atmosfery i tworzą takie izotopy promieniotwórcze jak C-14 i H-3, które mogą przenikać do organizmów żywych.

W wyniku oddziaływania neutronów na elementy konstrukcji amunicji jądrowej mogą powstawać takie nuklidy promieniotwórcze jak: Co-60, Co-61, Co-58, Fe-59, Fe-55, Mn-54, Zn-65, Y-88, W-185, W-181, W-187 i inne.

Spośród metali głównym źródłem promieniotwórczości wzbudzonej są: cynk, miedź i mangan, wchodzace w skład wielu materiałów. W szkle może wystąpić promieniotwórczość wzbudzona ze względu na dużą zawartość sodu i krzemu.Nie ma istotnego znaczenia promieniotwórczość powstająca wskutek wychwytu neutronów przez drewno i tkaniny. W żywności mogą pod wpływem neutronów powstawać substancje promieniotwórcze głównie ze względu na obecność sodu. Jednakże w takich odległościach od środka wybuchu, w których promieniotwórczość wzbudzona mogłaby mieć znaczenie jako czynnik rażący, zarówno żywność jak i inne artykuły nie nadawałyby się prawdopodobnie do użytku z powodu zmian wywołanych przez falę uderzeniową i promieniowanie cieplne.

Podczas wybuchów termojądrowych typu rozszczepienie - synteza - rozszczepienie głownym źródłem promieniotwórczości wzbudzonej jest skorupa uranowa. Jądra uranu-238 mają bowiem dużą zdolność wychwytywania neutronów termicznych, nie ulegając przy tym rozszczepieniu. W wyniku wychwytu neutronu przez jądra uranu-238 powstaje uran-239, którego okres półrozpadu wynosi 23,5 minuty. Potem przez rozpad beta, uran 239 przechodzi w nuklid promieniotwórczy o dłuższym czasie życia, neptun-239 ($T_{1/2}$=2,3 dni), z którego po emisji promieniowania beta powstaje pluton-239. Drugim ak-

tynowcem powstającym analogicznie jest uran-237 o półokresie rozpadu 6,75 dnia. Powstaje on w czasie wybuchu jądrowego z uranu-238, która zachodzi w obecności neutronów o bardzo wysokiej energii. Reakcja ta zachodzi tylko w czasie wybuchów termojądrowych.

Poprzez wzbogacenie ładunku jądrowego niektórymi pierwiastkami lub ich izotopami można wytworzyć rozległe strefy silnych skażeń promieniotwórczych - "bariery" wymagające obejścia lub odczekania do czasu spadku mocy dawki promieniowania. Jeżeli do wytworzenia "barier promieniotwórczych" zostaną użyte pierwiastki o okresie półrozpadu mierzonym w latach, to może nastąpić skażenie promieniotwórcze terenu na okres dziesiątków lub nawet setek lat.

Skażenie środowiska powstające w wyniku opadania pyłu promieniotwórczego uniesionego do troposfery i stratosfery

Pyły promieniotwórcze uniesione do troposfery i atmosfery dają w rezultacie tzw opad ogólnoświatowy. Charakterystyczne dla nich jest utrzymywanie sie w wymienionych warstwach przez długi okres, liczony w tygodniach, a nawet miesiącach oraz przemieszczanie się na wielkie odległości. Specyficzne kierunki wiatru w troposferze powodują przemieszczenie pyłów z zachodu na wschód. Wskutek opadania grawitacyjnego pyły radioaktywne wchodzą w coraz niższe warstwy atmosfery i dostając się w zasięg burz, deszczów i innych opadów osadzają się na powierzchni ziemi.

Specyficzne jest również zachowanie się pyłów promieniotwórczych, które dostały się do stratosfery. Istnieją obecnie dwa poglądy na zachowanie się radionuklidów w tej warstwie. Pierwszy z nich reprezentuje wybitny radiochemik amerykański Willard F. Libby, który twierdzi, że po przedostaniu się do stratosfery radioaktywne pyły

szybko mieszają się z powietrzem stratosferycznym, rozkładając się na dużych wysokościach, mniej więcej równomiernie wokół ziemi, przy czym po upływie siedmiu lat 50 % początkowej ilości pyłów opada do troposfery. Dalsze opadanie pyłów w troposferze zależne jest od warunków meteorologicznych. Według innego poglądu, reprezentowanego przez L. Mochtę, mieszanie się obłoku promieniotwórczego z powietrzem stratosferycznym odbywa się powoli. Radionuklidy, według Mochty nie rozkładają się na wielkich przestrzeniach, lecz utrzymują w ograniczonych skupiskach odpowiadających poszczególnym wybuchom. Większość tych cząstek rozmieszczona nierównomiernie znajduje się w północnej części półkuli północnej. Ruch obłoków promieniotwórczych w stratosferze odbywa się z zachodu na wschód w szerokości geograficznej miejsca wybuchu.

Przesuwanie się powietrza stratosferycznego z okolic równikowych w kierunku biegunów powoduje niewielkie skażenie atmosfery w tej części globu. Większe stężenie pyłów radioaktywnych obserwowane w srednich szerokościach półkuli północnej zależne jest od wymiany powietrza między troposferą a stratosferą. Wymiana ta odbywa się przez dziury w tropopauzie, spotykane często w pobliżu strumienia wybuchu. Większe skażenie promieniotwórcze gleby w USA mogłoby być spowodowane szczególnie dużym przenikaniem pyłów ze stratosfery przez owe "dziury" w okolicach Pustyni Newada. W końcowym rezultacie pyły opadają na powierzchnię ziemi. Powoduje to zmianę naturalnego tła promieniotwórczego, przy którym dokonała się ewolucja człowieka i całego świata organicznego w ciągu minionych epok geologicznych. Jakie mogą być skutki zmiany jednego z ważniejszych składników środowiska istot żywych trudno dziś do końca przewidzieć.

Pyły promieniotwórcze, wypadające z troposfery i stratosfery na równi z lądem skażają wody mórz i oceanów. Pyły, które opadają na powierzchnię oceanu, zachowują się nieco odmiennie od osadzających się na lądzie. Na lądzie prawie cały pył promieniotwórczy gromadzi się w cienkiej, nie przekraczającej kilku centymetrów, warstwie gleby. Natomiast w powierzchniowych warstwach wód oceanicznych stężenie radionuklidów pochodzących z wybuchów jądrowych lub awarii reaktorów jądrowych jest znacznie mniejsze. Powodem tego jest duże rozcieńczenie, któremu ulegają promieniotwórcze pyły opadające z atmosfery. Nie jest ono jednak tak wielkie, jak można by sądzić, biorąc pod uwagę olbrzymią objętość wód oceanów. Okazuje się bowiem, że oceany, poza wodami Arktyki i Antarktyki można traktować jako system dwustronny, składający się z "warstwy górnej" o grubości od 10 do kilkuset metrów, w której dyfuzja pionowa i prądy poziome cechują się znaczną prędkością oraz z "warstwy dolnej" grubości do kilku tysięcy metrów. Ta "dolna warstwa" zachowuje się tak, jak gdyby składała się z wielu cieniutkich warstewek o bardzo dużym zasięgu poziomym, ułożonych jedna na drugiej i poruszających sie niezależnie od siebie. Ma to bezpośredni wpływ na zachowanie się pyłu promieniotwórczego. Zostaje on zmagazynowany w "górnej warstwie" oceanu. Brak dyfuzji pionowej w "dolnej warstwie" uniemożliwia szybkie rozcieńczenie promieniotwórczości w wodach oceanów. Większość izotopów promieniotwórczych jest rozpuszczalna w wodzie i przechodzi do roztworu.

Obieg nuklidów promieniotwórczych w biosferze

Badania prowadzone po wykonaniu doświadczalnych wybuchów jądrowych dostarczyły wielu informacji, zwłaszcza na temat za-

chowania się ważniejszych i trwalszych składników promieniotwórczych powybuchowej mieszaniny produktów rozszczepienia.

Upraszczając znacznie zagadnienie obiegu nuklidów w biosferze po wybuchu jądrowym lub awarii reaktora jądrowego można sytuację w dużym skrócie przedstawić następująco:

- opad promieniotwórczy osiada na powierzchni ziemi i pokrywającej ją szacie roślinnej (następuje tzw. skażenie powierzchniowe);
- część substancji promieniotwórczych zostaje spłukana z powierzchni ziemi i roślinności przez deszcz, wnika w głąb podłoża, a następnie przez system korzeniowy przedostaje się do wnętrza roślin (następuje tzw. korzeniowe skażenie roślin lub inkorporacja korzeniowa);
- zwierzęta spożywają skażone rośliny (liście, pędy podziemne, korzenie, bulwy. owoce, itp),. Część nuklidów promieniotwórczych zostaje wchłonięta przez zwierzęta bezpośrednio z wody i powietrza;
- ludzie spożywając skażone produkty roślinne (jarzyny, owoce, ziemniaki, zboże itp.) lub zwierzęce (mięso, mleko, przetwory mleczne, jajka) oraz oddychając skażonym powietrzem i pijąc skażoną wodę ulegają promieniotwórczemu skażeniu wewnętrznemu.

W przedstawiony wyżej sposób, za pośrednictwem różnych łańcuchów pokarmowych, takich jak "roślina - zwierzę - człowiek" część substancji promieniotwórczych trafia do organizmu ludzkiego. Analogiczne łańcuchy pokarmowe poznano również w środowisku wodnym. Organizmy roślinne pobierają radionuklidy wprost z roztworów wodnych. Ich błony komórkowe są znacznie mniej selektywne niż błony zwierzęce. W związku z czym przepuszczają większe ilości i więcej rodzajów różnych pierwiastków. Tak na przykład stężenie różnorodnych produktów rozpadu w fitoplanktonie (głównie w okrzemkach) jest około 2000 razy większe niż w wodzie. Wiadomo, że niektóre organizmy żyjące w wodzie posiadają zdolność szczególnie intensywnej kon-

centracji pewnych produktów promieniotwórczych. Tak np.[6] mała ryba słodkowodna Richerdsonius Balcatus zawiera około 150000 razy więcej radioaktywnego fosforu niż woda, w której żyje, a u larwy chróścika Hydropsyche Cocerelli ten współczynnik koncentracji wynosi 350000. Stopień koncentracji zależny jest nie tylko od właściwości fizjologicznych organizmu, ale również od warunków chemicznych środowiska. Znajdujące się w roztworze radionuklidy przenikają do organizmów zwierząt wodnych głównie na drodze pokarmowej. Stwierdzono jednak, że pierwiastki promieniotwórcze mogą dostać się do organizmów większych zwierząt morskich również przez bezpośrednią absorpcję radionuklidów w postaci jonów nieorganicznych i związków kompleksowych z roztworu wodnego. Absorpcja ta następuje przez powierzchnię ciała (np. skrzela). Te dwie drogi wchłaniania radionuklidów występują czsto obok siebie, w tym samym czasie i niekiedy są trudne do odróżnienia. Szczególnie dobrze drogą pokarmową absorbuje się izotop sodu-24, którego koncentracja w organizmach ryb zanurzonych w jego roztworze jest 130 razy większa niż w wodzie.

Radionuklidy gromadzone są przez różne tkanki organizmu. Na przykład fosfor-32 gromadzi się u ryb głównie w kościach i łuskach, a w mięśniach i tłuszczu nie występuje prawie wcale. Jod promieniotwórczy gromadzi się w tarczycy, z kolei promieniotwórczy stront-90 w kościach. Prędkość z jaką radionuklidy przedostają się z wody do organizmów jest różna u rozmaitych form. W przypadku mikroplanktonu słodkowodnego maksymalna koncentracja fosforu-32 nastąpiła już po 15 godzinach od chwili wprowadzenia tego radionuklidu do wody, przy czym więcej niż połowa tej ilości pobierana była w ciągu pierwszej godziny. Kumulacja fosforu w glonach osiadłych jest znacznie wolniejsza, a u małych ryb maksimum koncentracji występuje

---

6. Zob. Jaworowski Z. Radioaktywność a zdrowie ludzkie, wyd. PWN, Warszawa, 1964, str. 73.

dopiero po upływie dwóch tygodni. Czas pozostawania radionuklidu w organiźmie jest również bardzo różny i zależy od rodzaju radionuklidu, procesów fizjologicznych zachodzących w organiźmic i innych.

Skażenie biosfery i możliwość inkorporowania radionulidów za pośrednictwem różnych łańcuchów pokarmowych stwarza więc dodatkową formę radiacyjnego narażenia człowieka, które ze względu na swe trwanie przez wiele lat po skażeniu musi być uwzględniane przy ocenie zagrożenia populacji żyjącej i następnych pokoleń.

Oddziaływanie promieniowania jonizującego na środowisko

Problematyka ekologicznych skutków ekspozycji na promieniowanie, od ponad stu lat, tzn. od wykrycia promieni rengenowskich i odkrycia zjawiska promieniotwórczości, jest "obciążona" mitami i emocjonalną interpretacją zjawiska lub jego lekceważeniu.

Brak wiedzy, pogoń za zyskiem, pobudzona nowością wyobraźnia sprzyjały bałamutnym i obecnie już humorystycznym poczynaniom ludzkim. Już w rok po odkryciu promieni X debatowano w New Jersey nad problemem zarządzenia zabraniającego wykorzystywanie promieni rentgenowskich w lornetkach teatralnych, które jakoby miały umożliwiać podglądanie artystów "jak ich Bóg stworzył". Niektóre firmy reklamowały bieliznę, szczególnie damską, "nieprzepuszczalną" dla promieni rentgenowskich. Sprzedawano kapelusze uniemożliwiające "czytanic mysli" za pomocą urządzeń rentgenowskich. Opisywano możliwości fotografowania duszy". Urządzano demonstracje żądające zatopienia urządzeń rentgenowskich w morzu. Przykłady można mnożyć. W 1903 r A. W. Pehl rozpoczął w Carskim Siole koło Petersburga oznaczanie radioaktywności wody, powietrza i gleby, na polecenie cara Mikołja II, którego nastraszono szkodliwością substancji promieniotwórczych.

Sytuacje podobne mają miejsce również w naszych czasach. Przypomnijmy chociażby okres po awarii w Czernobylu i rozpowszechnione do dziś sensacyjne informacje o skutkach i zagrożeniu, dyskusje i emocje związane z budową elektrowni atomowej w Polsce i wiele wiele innych.

Jest i druga strona tego medalu, przejawiająca się w lekceważeniu promieniowania jonizującego, szczególnie widoczna bezpośrednio po drugiej wojnie światowej i w okresie zimnej wojny. Oto kilka przykładów: Kierownik programu "Manhattan" gen. L. Growes wyrażał opinię ..."podobno śmierć spowodowana promieniowaniem jest całkiem przyjemna...". Twórca bomby wodorowej E. Teller głosił pogląd, że skutki doświadczalnych wybuchów jądrowych można przyrównać do wypalenia papierosa, z tym, że papieros przynosi więcej szkody. Literatura jest bogata w tego typu informacje.

Emocje, jakie towarzyszą ocenie skutków napromieniowania nie maleją. Z drugiej strony nagromadzona wiedza, presja społeczna spowodowana głównie propagandowym wykorzystywaniem skutków radiacji w zimnej wojnie i walce politycznej spowodowały szybki rozwój radiobiologii i ochrony radiologicznej. W konsekwencji ochrona radiologiczna jest dziś w czołówce najlepiej zorganizowanych, odpowiadających współczesnym wymogom, działów ochrony człowieka i środowiska przed niepożądanymi skutkami rozwoju cywilizacyjnego. Daje wiele zadawalających odpowiedzi na pytania dotyczące skutków oddziaływania skażeń promieniotwórczych środowiska na ludzi, faunę i florę.

## Oddziaływanie skażeń promieniotwórczych środowiska na ludzi

Patologiczne działanie dawek promieniowania jonizującego na organizm ludzki może objawiać się różnymi postaciami zmian, zaburzeń i uszkodzeń. Do najważniejszych z nich należą:

1. Popromienne zmiany somatyczne (przejawiające się w organiźmie osobnika podlegającego napromieniowaniu), które mogą występować jako:
   a) ostra choroba popromienna (ostry , ogólnoustrojowy zespół po promienny);
   b) przewlekła choroba popromienna;
   c) miejscowe, ogniskowe zmiany popromienne typu ostrego lub przewlekłego, dotyczące pojedynczej tkanki lub narządu, względ nie określonej okolicy ciała (miejscowe, popromienne zapalenie skóry, popromienne zapalenie tarczycy, ograniczony zespół popromienny, wywołany napromieniowaniem jamy brzusznej itp.);
   d) opóźnione lub odległe skutki napromieniowania, do których zalicza się: niedokrwistość, białaczka i nowotwory popromienne, zaćmę soczewek ocznych, zaburzenia gametogenezy i płodności, przyspieszenie procesów degeneracyjnych i inwolucyjnych, stanowiące podłoże wcześniejszego starzenia się organizmu;
2. Popromienne wady genetyczne i rozwojowe, występujące u potomstwa osób napromieniowanych;
   a) abberacje chromosomowe i mutacje genowe o charakterze letalnym, patogennym lub obojętnym;
   b) rozmaite wady wrodzone i zaburzenia rozwojowe.

Ostra choroba popromienna

Ostra choroba popromienna jaest złożonym schorzeniem ogólnoustrojowym, rozwijającym się wskutek pochłonięcia przez organizm dużej dawki promieniowania jonizującego. Ze względu na wielkość otrzymanych dawek i przebieg kilniczny dzieli się ostrą chorobę popromienną na cztery stopnie o różnym zakresie i skuteczności leczenia, a mianowicie:

- pierwszy (lekki) rozwija się po dawkach nie przekraczających 200 cGy. W warunkach wojennych większość takich porażonych otrzymuje pomoc ambulatoryjną. Rokowania są dobre nawet bez leczenia;

- drugi (średni) występuje po dawkach 200 - 400 cGy. Wymaga leczenia szpitalnego (stacjonarnego). Smiertelność u osobników nieleczonych może dochodzić do 50 %. Prawdopodobieństwo przeżycia wzrasta u chorych właściwie leczonych;

- trzeci (ciężki) rozwija się po dawkach 400 - 600 cGy. Wymaga leczenia szpitalnego, chociaż jest ono wyraźnie mniej skuteczne niż w poprzedniej kategorii. Śmiertelność osobników nieleczonych wynosi w przybliżeniu od 50 do 100 %.

- czwarty (bardzo ciężki) występujc po dawkach przekraczających 600 cGy. Jest schorzeniem kończącym się prawie zawsze śmiercią, a wszystkie znane obecnie metody leczenia nie dają pomyślnych wyników.

Oprócz tego istnieje podział ostrej choroby popromiennej, który opiera się na dominujących w danej postaci objawach klinicznych i przedstawia się następująco:

- postać hematologiczna, która występuje po dawkach nie przekraczających 600 -800 cGy, a w jej obrazie kilnicznym na czoło wysuwają się objawy uszkodzenia układu krwiotwórczego;

- postać żołądkowo - jelitowa po dawkach większych (około 1000 - 5000 cGy), o ciężkim przebiegu, z przewagą objawów uszkodzenia przewodu pokarmowego, ze złym rokowaniem;

- postać neurologiczna, rozwijająca się niekiedy bardzo gwałtownie po napromieniowaniu przekraczającym 5000 cGy i szybko kończąca się śmiercią wśród objawów ciężkiego porażenia ośrodkowego układu nerwowego (a niekiedy również układu sercowo - naczyniowego).

Niezależnie od zespołu objawów dominujących w danej postaci choroby popromiennej zawsze występują symptomy uszkodzenia innych (praktycznie wszystkich) układów i narządów, zaznaczone bardziej lub mniej wyraźnie. Rokowania oraz obraz kliniczny ostrej choroby popromiennej mogą się zmieniać w przypadku występowania drugiego stanu patologicznego.

Przewlekła choroba popromienna

W warunkach długotrwałego narażenia na promieniowanie zewnętrzne o małej mocy dawki, a także po inkorporacji większych aktywności nuklidów promieniotwórczych o dłuższym czasie życia mogą rozwijać się stopniowo i skrycie uszkodzenia, które po wielu miesiącach lub nawet latach ujawniają się jako przewlekły zespół popromienny. Zmiany takie mogą również powstawać jako zejście procesów ostrych, które nie zostały całkowicie wyleczone.

Przewlekły zespół popromienny może dotyczyć całego organizmu (przewlekła choroba popromienna) lub poszczególnych narządów i układów, a jego przebieg i obraz może być bardzo różnorodny, nietypowy i trudny do rozpoznania. Do ważniejszych objawów choroby popromiennej zalicza się:

- wyraźne upośledzenie sprawności fizycznej i neuropsychicznej;

- spadek wskaźników hematologicznych i wydolności czynnościowej układu krwiotwórczego;

- dyskretne zaburzenia czynności ośrodkowego układu nerwowego i systemu regulacji neurohormonalnej;

- przedwczesne występowanie lub nadmierne nasilenie procesów involucyjnych i zwyrodniających;

- upośledzenie czynności rozrodczych;

- spadek odporności i zwiększona skłonność do zakażeń;

- upośledzenie mechanizmów adaptacyjnych i zdolności regeneracji;

- subtelne zaburzenia przemiany materii w różnych cyklach metabolicznych;

- dyskretne zmiany morfologiczne i zaburzenia czynnościowe wielu narządów i układów (wątroby, nerek, układu oddechowego, przewodu pokarmowego i układu sercowo - naczyniowego);

- zwiększenie częstotliwości występowania nowotworów w późniejszych okresach życia.

Przedstawiony obraz zaburzeń i uszkodzeń, wywołanych przewlekłym napromieniowaniem, obejmuje w zasadzie cały organizm i uzasadnia wyodrębnienie przewlekłej choroby popromiennej, znacznie obniżającej wartość biologiczną porażonego osobnika, jako samodzielnej jednostki chorobowej.

Miejscowe, ogniskowe zmiany popromienne

Miejscowe, ogniskowe zmiany popromienne powstają w wyniku wybiorczego działania niezbyt dużych dawek promieniowania jonizującego na poszczególne części i okolice ciała ludzkiego lub zwierzęcego. Dochodzi wtedy do rozwoju miejscowych zmian o charakterze ostrym lub podostrym ograniczonych niekiedy do pojedynczego narządu. Typowym przykładem takiego uszkodzenia jest popromienne zapalenie

skóry, obserwowane stosunkowo często jako powikłanie podczas radioterapii nowotworów w narządach lub tkankach wewnątrz organizmu. W warunkach wojennych może ono występować jako powikłanie zewnętrznych skażeń promieniotwórczych.

W zależności od wielkości miejscowych dawek ekspozycyjnych, a ściślej biorąc dawek pochłoniętych w obrębie skażeń, zmiany mogą przybierać odpowiednio postać ognisk rumieniowych (zaczerwienienie pola skórnego), pęcherzy lub owrzodzeń, czemu towarzyszą silne bóle. Szybkość rozwoju zmian chorobowych jest również zależna od wielkości ekspozycji miejscowej. Gojenie się popromiennych zmian skóry postępuje bardzo powoli, a procesy ostre często przechodzą w postać przewlekłą z dalszymi powikłaniami. W przypadku skóry owłosionej (lub pokrytej sierścią u zwierząt) oprócz opisanych poprzednio zmian, charakterystycznym objawem jest utrata włosów (epilacja). Może ona być trwała - po dużych dawkach promieniowania, lub okresowa - po ekspozycji niewielkiej. Odrastające włosy są często nieprawidłowe: cieńsze niż normalne, niekiedy poskręcane i częściowo odbarwione lub siwe.

Uszkodzenia skóry mogą być również jednym z objawów ogólnoustrojowego zespołu popromiennego, powstającego wskutek ekspozycji ciała na działanie promieniowania przenikliwego, emitowanego podczas wybuchu jądrowego lub promieniowania emitowanego z powierzchni skażonego terenu. W tym przypadku zarówno odczyn epilacyjny jak i rumień popromienny nie powodują zazwyczaj poważniejszych dolegliwości ani konsekwencji i ustępują po kilku lub kilkunastu dniach nawet bez leczenia. Natomiast postać pęcherzowa i wrzodziejąco - martwiczna sprawiają silne dolegliwości, wymagają intensywnego i długotrwałego leczenia, mimo którego mogą niekiedy wywołać ciężkie zakażenie ogólne.

Kolejnym źródłem porażeń skóry może być pył promieniotwórczy, który znalazł się na umundurowaniu i bieliźnie lub bezpośrednio na skórze i oddziaływał przez dłuższy czas na skórę. Takie porażenia noszą nazwę "beta kontaktowych". Przy powstawaniu "beta kontaktowych" uszkodzeń skóry nasilenie i przebieg zmian w różnych okolicach powłok tego samego osobnika mogą być rozmaite w zależności od ilości i czasu znajdowania się pyłu promieniotwórczego na skórze. Z reguły jednak ekspozycja miejscowa ma charakter przewlekły. Do miejsc krytycznych należą okolice owłosione i miejsca wilgotne z powodu dużego wydzielania potu. W związku z silniejszym i dłuższym zatrzymywaniem pyłu promieniotwórczego w tych miejscach mogą powstać cięższe zmiany popromienne niż w innych odcinach powłok. W razie bardzo silnego skażenia powłok wczesnym opadem promieniotwórczym mogą rozwinąć się głębokie i bolesne owrzodzenia popromienne, a w skrajnych przypadkach mogą prowadzić do posocznicy i do zejścia śmiertelnego.

Oprócz miejscowych zmian popromiennych skóry mogą niekiedy powstać silne uszkodzenia ograniczone do pojedynczego układu lub narządu. Najczęściej rozwijają się one w przebiegu silnych i długotrwałych wewnętrznych skażeń promieniotwórczych, które nastąpiły w wyniku przedostania się nuklidów promieniotwórczych do organizmu drogą pokarmową lub inhalacyjną.

W przypadku skażeń wewnętrznych dróg pokarmowych obserwuje się uszkodzenia błon śluzowych jamy ustnej oraz innych odcinków przewodu pokarmowego. Charakteryzują się one dużą bolesnością i skłonnością do krwawień, złym i powolnym gojeniem. Występują trudności przy spożywaniu pokarmów. Zmiany zlokalizowane w dolnych odcinkach przewodu pokarmowego manifestują się również silnymi bólami, zburzeniami trawienia i biegunkami, często krwawymi.

Spotyka się zmiany popromienne typu miejscowego w innych narządach lub układach organizmu, przede wszystkim w płucach i nerkach, tarczycy i szpiku kostnym. Procesy te charakteryzują się bardzo przewlekłym przebiegiem. Często następuje zanik właściwości miąższu danego narządu (marskość) i znaczne upośledzenie jego czynności. Porażeń "beta kontaktowych" skóry oraz porażeń organów wewnętrznych można uniknąć poprzez przeprowadzenie zabiegów sanitarnych oraz spożywanie nieskażonej żywności.

Opóźnione lub odległe skutki napromieniowania

Zgodnie z obecnym poglądem późne skutki napromieniowania nie ograniczają się tylko do działania rakotwórczego, ale obejmują cały szereg zjawisk patologicznych, w których napromieniowanie odgrywa lub może odgrywać rolę.

Do późnych skutków napromieniowania zaliczamy obecnie następujące efekty:

- wzrost częstotliwości nowotworów;
- indukowanie schorzeń hematologicznych, jak białaczki, niedokrwistość i skaza krwotoczna;
- nasilenie procesów zwyrodniających i zanikowych;
- skracanie przeciętnego okresu życia, swoistego dla organizmów danego gatunku, względnie przyspieszenie procesów starzenia;
- działanie zaćmotwórcze, tj. przyspieszanie powtawania zmętnień w soczewkach ocznych;
- upośledzenie rozrodczości;
- ujemny wpływ na rozwój i stan zdrowia osobników eksponowanych podczas życia wewnątrzmacicznego.

Opóźnione skutki napromieniowania doświadczyli na sobie pierwsi odkrywcy i użytkownicy źródeł promieniowania W.K. Roent-

gen, H. Becquerel, M. Skłodowska Curie i wielu innych uczonych. Zatem znane są one od dawna. Już w 1896 roku stwierdzono, że promieniowanie powoduje zapalenie skóry. W 1902 roku ustalono, że wywołuje raka skóry. W 1903 roku odkryto radioczułość gruczołów płciowych i układu krwiotwórczego, a w 1911 zaćmę promieniotwórczą. W 1928 roku z kolei ustalono, że promieniowanie jonizujące może wywołać wady rozwojowe w okresie płodowym. W 1950 roku stwierdono nowotwory tarczycy u dzieci po napromieniowaniu szyi. Badania naukowe przeprowadzone w latach 1957 - 1960 wykazały wpływ napromieniowania na starzenie się organizmu. Badania prowadzono przede wszystkim na zwierzętach. Wiele materiału dostarczają również badania osób napromnieniowanych w Hiroszimie i Nagasaki oraz badania osób stykających się z promieniowaniem (radiolodzy i osoby leczone przy użyciu preparatów promieniotwórczych).

Na uwagę zasługuje fakt, że mechanizm powstawania odległych skutków napromieniowania jest do dnia dzisiejszego niewyjaśniony. Bezsporne są natomiast fakty zaobserwowane w doświadczeniach. Już w 1930 roku H. A. Krebs i jego współpracownicy stwierdzili[7], że częstość występowania białaczek u naświetlonych myszy wynosiła 3,5 na tysiąc, podczas gdy u nienaświetlonych 0,6 na tysiąc. U myszy naświetlonych w ciągu 6 tygodni dawką 480 cGy stwierdzono aż 74 % białaczki. W 1944 roku P. S. Henshaw zauważył zwrost częstotliwości występowania białaczki u myszy naświetlanych bardzo małymi, chronicznymi dawkami promieni jonizujących[8].

W popromiennym procesie nowotworowym bardzo ważny jest tzw, okres utajenia. U myszy i szczurów czas między naświetleniem a śmiercią z powodu nowotworu stanowi około 20 % ich normalnego

---

7. Zob. Jaworowicz Z. Radioaktywność a zdrowie ludzkie. Wyd. PWN, Warszawa 1964, str. 43.
8. Tamże. Str. 44

okresu życia. Okres utajenia nie jest przy tym zależny ani od wielkości dawki, ani od rodzaju promieniowania, ani od wieku zwierzęcia. Po wybuchach w Hiroszimie i Nagasaki największe nasilenie zachorowań na białaczkę wystąpiło w ciągu 5 do 9 lat od napromieniowania. Okres utajenia w przypadku białaczek jest znacznie krótszy niż przy innych nowotworach.

Promieniowanie jonizujące nie wywołuje w ustroju zmian czy uszkodzeń charakterystycznych tylko dla ekspozycji promieniowania. Skutki takie jak wywołane napromieniowaniem mogą powstać również z wielu innych przyczyn i pod wpływem wielu różnych czynników. Nie można odróżnić zaburzeń w krwiotworzeniu, zaburzeń genetycznych, wad rozwojowych, nowotworów i innych zmian wywołanych promieniowaniem od takich samych zmian wywołanych innymi czynnikami. Wynikają z tego trudności w interpretacji przyczyn i ocenie ilościowej zależności dawka - skutek. Mamy więc do czynienia z sytuacją, że skutki biologiczne po ekspozycjach na promieniowanie jonizujące wyrażane jakościowo są niepodważalne. Natomiast ilościowa ocena skutków radiacyjnych stochastycznych[9)] na ludzi, na tle takich samych objawów wywołanych innymi czynnikami, jest trudna i czasem budzi wątpliwości co do wiarygodności.

Genetyczne skutki napromieniowania

Genetyczne skutki promieniowania jonizującego zostały po raz pierwszy zaobserwowane przez H.J. Miillera w 1927 roku. Obecnie takie zmiany można wywołać w różnych organizmach żywych - u drobnoustrojów, roślin i zwierząt. Obserwowany w ostatnich latach szybki rozwój radiogenetyki jest spowodowany perspektywami praktycznego wykorzystania jej osiągnięć w hodowli roślin i zwierząt, jak i dążeniem

---

9. Stochastyczne procesy (skutki) - procesy (skutki) przypadkowe (zjawiska prawdopodobne, zmienne losowo zależne od czasu.

do wyjaśnienia mechanizmów genetycznych skutków popromiennych oraz do znalezienia metody lub środków chroniących człowieka przed tą formą szkodliwego wpływu promieniowania jonizującego.

Zmiany materiału genetycznego w komórkach, wywołane przez promieniowanie jonizujące lub inne czynniki mutagenne można podzielić na:

1. Mutacje chromosomowe, czyli wady garnituru chromosomów polegające na zmianach ;

- ich liczebności w komórkach (np. brak jednego chromosomu -monosomia, lub nadmiar - trisomia, lub zwielokrotnienie normalnej ilości - poliplardia);

- kształtu i budowy (np. pęknięcia, ubytki, odszczepy, wymiana fragmentów, nieprawidłowe połączenia, tworzenie form pierścieniowych itp.) na tle zaburzeń podziału komórkowego, wywołanych wpływem różnych czynników.

2. Mutacje genowe (lub punktowe) polegające na mokroskopowo niewykrywalnych zmianach w obrębie pojedynczych chromosomów.

U ludzi oczywiście żadnych eksperymentów radiogenetycznych nie przeprowadzono, ale na podstawie dotychczasowych obserwacji i badań genetycznych różnych rodzajów zaburzeń i schorzeń można przyjąć, że popromienne mutacje u człowieka mają głównie charakter negatywny lub w najlepszym razie obojętny.

Mutacje chromosomoe powstają w sytuacji gdy pod wpływem promieniowania następuje zaburzenie w normalnym sposobie podziału chromosomów pomiędzy komórki potomne. W świetle ustaleń biologii każdy chromosom jest jak gdyby nicią złożoną z dwóch włókien, zwanych chromatydem. Liczba chromosomów w komórce jest stała dla danego gatunku. U człowieka wynosi 46. W czasie podziału komórki chromosomy ulegają podłużnemu rozszczepieniu na dwa odcinki,

z których każdy przechodzi do jednej z dwóch komórek potomnych. Pod wpływem promieniowania jonizującego proces ten może ulec zakłóceniu. Na przykład dwa chromatydy uszkodzonego chromosomu mogą nie podzielić się i przejść łącznie do jednej tylko komórki potomnej. Powstają wówczas komórki z nadmiarem (trisomia) lub brakiem (monosomia) chromosomów. Komórki te giną. Jeżeli komórki nie giną dochodzi do szkodliwych zmian w organiźmie.

Jednostkami genetycznymi, z których składają się chromosomy są tzw. geny. Nie ulegają one żadnym zmianom w wyniku mutacji chromosomowych, a pęknięcie chromosomu nie może spowodować pęknięcia genu. Geny są ułożone liniowo, jeden za drugim, w ustalonym porządku , wzdłuż długiej osi chromosomu. Pod wpływem różnych czynników (w tym promieniowania jonizującego) w strukturze genów mogą zachodzić nagłe zmiany, prowadzące do indywidualnych różnic pomiędzy organizmami i będące ważnym czynnikiem w ewolucji świata żywego.W przypadku oddziaływania promieniowania jonizującego liczba mutacji jest proporcjonalna do dawki promieniowania, małe znaczenie ma natomiast, czy dawka jest jednorazowa, czy też podajc się ją przcz wielc dni czy tygodni. To, żc brak jakiegoś "progu" w oddziaływaniu promieniowania na układy genetyczne zmusza do uznania nawet najmniejszych dawek promieniowania za szkodliwe, zwłaszcza w odniesieniu do większych grup populacyjnych. Częstość z jaką powstają mutacje nie zależy od rodzaju promieniowania jonizującego.

Do zasadniczych cech mutacji należy nieodwracalność, tzn., że gen, który uległ zmianie nie może ulec regeneracji. Jest on przekazywany z pokolenia na pokolenie. Jeżeli zmieniony gen nie zginie wraz ze swym nosicielem, to mutacja ujawnia się w postaci wady dziedzicznej.

Zmienione geny, obciążające materiał genetyczny danej populacji mogą więc zniknąć tylko wtedy, jeżeli nie zostaną przekazane potomstwu.

Praktycznie wszystkie mutacje wywołane przez promieniowanie są dla ludzi szkodliwe (zaledwie 1 na 100 mutacji ma charakter obojętny lub korzystny).

Mutacje genów mogą powodować zmiany o różnym charakterze - począwszy od lekkich i nieszkodliwych (np. zmiany zabarwienia skóry i włosów), poprzez różnego rodzaju wady wrodzone (wady układu kostnego i mięśniowego, układu krążenia, układu nerwowego itp.) oraz zaburzenia w rozwoju psychicznym, aż do ciężkich wad metabolicznych i zmian ogólnoustrojowych, powodujących niezdolność do życia. Ponieważ liczba mutacji genowych ulega pomnożeniu wskutek przenoszenia na dalsze pokolenia, stanowią one największą groźbę dla przyszłych pokoleń.

Rozmaite wady rozwojowe i zaburzenia wrodzone

Ekspozycja dojrzałego płciowo osobnika na duże dawki promieniowania jonizującego wywołuje w jego gruczołach płciowych zmiany mające niekorzystny wpływ na zdolność rozrodczą oraz stan zdrowotny potomstwa. Po dużych miejscowych dawkach na okolice ciała, gdzie znajdują się gruczoły płciowe występuje trwała bezpłodność, a dawki mniejsze powodują przejściową bezpłodność na tle popromiennych zaburzeń gametogenezy w gonadach. Jajniki są przy tym bardziej wrażliwe na zmiany popromienne aniżeli jądra.

Popromienne zaburzenia wytwarzania komórek jajowych i plemników mogą doprowadzić do ich obumierania lub do powstawania gamet nieprawidłowych pod względem morfologicznym, czynnościowym lub genetycznym. Zwraca się także uwagę, że popromienne zaburzenia gametogenezy mogą wynikać z ekspozycji radiacyjnej, któ-

ra dokonała się przed osiągnięciem dojrzałości płciowej, a nawet w okresie życia płodowego.

Z punktu widzenia stanu zdrowotnego potomstwa i dalszych pokoleń mniej groźna jest całkowita bezpłodność popromienna spowodowana zupełnym przerwaniem gametogenezy, wytwarzaniem gamet martwych, albo na tyle uszkodzonych, że nie są zdolne do udziału w procesie zapłodnienia inicjującym rozwój organizmu potomnego. W takiej sytuacji porażony osobnik po prostu nie ma potomstwa i problem dziedzicznego obarczenia przyszłych pokoleń po prostu nie istnieje. Groźniejsze są nieprawidłowe gamety, które zawierając uszkodzenia popromienne mogą je przenosić na organizm potomny i obarczać go mutacją lub wrodzoną wadą rozwojową.

Wada popromienna, uwarunkowana genetycznie lub mająca inny charakter, może spowodować śmierć lub bezpłodność obarczonego nią potomstwa i w takim przypadku nie zostanie przekazana dalszym pokoleniom. W przeciwnym razie wszystkie osobniki, pochodzące od porażonego protoplasty będą nosicielem wady, co w skali populacji jest zjawiskiem wysoce niepożądanym.

Odrębnym problemem jest wpływ promieniowania jonizującego na rozwój osobniczy. Z dotychczasowych ustaleń wiadomo, że organizm ludzki w okresie życia wewnątrzmacicznego, podobnie jak inne organizmy zwierzęce, jest szczególnie wrażliwy na działanie promieniowania. Przyczyną tego jest duża promienioczułość intensywnie dzielących się komórek i rozrastających się tkanek oraz to, że uszkodzenie komórek dających początek całemu organizmowi i poszczególnym narządom może prowadzić do przerwania lub zahamowania procesów rozwojowych. Cały okres rozwoju zarodkowego cechuje się więc dużą wrażliwością na promieniowanie. Skutki napromieniowania w poszczególnych fazach życia zarodkowego są jednak różne. Ekspozycja

w fazie bruzdkowania i gastrulacji kończy się z reguły śmiercią i usunięciem zarodka. Z upływem czasu prawdopodobieństwo efektu letalnego maleje, a rośnie możliwość indukowania popromiennych wad rozwojowych. Jeżeli napromieniowanie zachodzi w końcowej fazie okresu zarodkowego, tj. podczas organogenezy większej, polegającej na wykształceniu ważniejszych układów i narządów w ich pierwotnej postaci, to występują częściowe wady rozwojowe, znacznie upośledzające wydolność organizmu. Jeżeli nie spowodują one śmierci płodu w późniejszym okresie rozwoju wewnątrzmacicznego lub zaraz po urodzeniu, to w życiu poporodowym dają obraz różnorodnych zniekształceń i potworności, znacznego upośledzenia fizycznego lub psychicznego z ogólnie zmniejszoną wartością biologiczną i słabą odpornością na działanie wszelkich bodźców szkodliwych. Napromieniowanie rozwijającego się organizmu w późniejszym czasie, np. w czasie tzw. organogenezy mniejszej, przypadającej u człowieka na drugi trymestr ciąży, kiedy to odbywa się ostateczne kształtowanie większości narządów oraz szczegółów morfologicznych organizmu, powoduje lżejsze wady, w małym stopniu obniżające sprawność osobnika, lub nie mające żadnego znaczenia. Napromieniowanie w końcowym okresie ciąży i w początkowym okresie życia poporodowego może wywoływać zmniejszenie ciężaru ciała i zmniejszenie wymiarów całego organizmu, a także objawy choroby popromiennej z możliwością niedorozwoju umysłowego. Zmiany te występują po stosunkowo dużych dawkach rzędu od kilkudziesięciu do około 100 cGy. W przeciwieństwie do tego przyjmuje się zwykle, że zarodek jest wrażliwy na dawki rzędu 1 cGy, zaś płód 10 cGy. Wielkości te mają u człowieka jedynie orientacyjny charakter, ale należy o nich wiedzieć i pamiętać gdy rozpatruje się skutki wybuchów jądrowych dla populacji i przyszłych pokoleń.

Oddziaływanie skażeń promieniotwórczych środowiska na faunę

Biologiczne działanie promieniowania jonizującego na organizmy zwierzęce jest podobne do opisanego działanie tego promieniowania na ludzi. W organizmach napromieniowanych zwierząt mają miejsce popromienne zmiany somatyczne i genetyczne analogiczne jak u ludzi. Większe dawki promieniowania jonizującego, rzędu 10-100cGy lub większe wywołują przejściowe lub trwałe zmiany w materii żywej, ale ich uszkadzający wpływ może być różny w zależności od wrażliwości gatunkowej oraz indywidualnych właściwości napromieniowanego organizmu. Dla większości wyższych zwierząt krytyczny przedział dawek ekspozycyjnych znajduje się w przedziale od 100 do 1000 cGy. Po ekspozycjach tego rzędu występują wyraźne, ciężkie lub śmiertelne zespoły chorobowe, a po dawkach przekraczających 1000 cGy giną wszystkie osobniki z większości gatunków wyższych zwierząt. Niższe gatunki zwierzęce, większość organizmów roślinnych oraz drobnoustroje są dużo mniej radiowrażliwe niż ssaki. Jednakże i wśród nich obserwuje się ogromne zróżnicowanie radiowrażliwości. Interesujących informacji na ten temat dostarczyły badania prowadzone na poligonach atomowych.

W strefach, które zostały całkowicie zniszczone lub wypalone, ale podlegały przez pewien czas po wybuchu jądrowym działaniu dużych dawek promieniowania rzędu tysięcy cGy (pochodzących z samego wybuchu lub opadu promieniotwórczego), stwierdzono poważne zaburzenia rozwoju biologicznego w naturalnych zespołach ekologicznych. Niezależnie od znacznych różnic stopnia wyniszczenia poszczególnych gatunków roślinnych i zwierzęcych oraz wyraźnych zmian składu mikroflory środowiska w przebiegu długoletnich badań zaobserwowano powolną i bardzo nierównomierną odnowę, która pogłębia-

ła pierwotne zaburzenia równowagi ekologicznej. Oprócz tego w przebiegu odnowy występowały u zwierząt liczne nieprawidłowości i zahamowania wzrostu i rozwoju. zniekształcenia, zmniejszenie odporności na różne schorzenia itp. W tabeli 13 podano zestawienie wielkości $LD_{50}$ promieniowania gamma dla człowieka, niektórych zwierząt i drobnoustrojów.

Tabela 13

Radiowrażliwość niektórych gatunków zwierząt i drobnoustrojów

| Organizm żywy | Przybliżone wielkości dawek półletalnych $LD_{50}$ (w cGy) |
|---|---|
| chomik | 800 |
| królik | 750 |
| szczur | 700 |
| mysz | 600 |
| małpa | 600 |
| świnka morska | 500 |
| człowiek | około 400 (?) |
| muł | 300 |
| pies | 250 |
| świnia | 250 |
| koza | 250 |
| owca | 250 |
| złota rybka | 700 |
| traszka | 3000 |
| escherichia coli | rzędu $10^4$ |
| ameba | rzędu $10^5$ |
| micrococcus radiodunans | rzędu $10^6$ |
| niektóre wirusy | rzędu $10^7$ |

Źródło: Zarys patologii popromiennej i ochrony radiologicznej, podręcznik, wyd, MON Warszawa 1981r

Z danych przedstawionych w tabeli wynika, że człowiek i wyższe ssaki wykazują, w porównaniu z innymi przedstawicielami świata zwierzęcego, dosyć dużą wrażliwość.

Wpływ małych dawek promieniowania jonizującego na wyższe zwierzęta nie został dotychczas wystarczająco poznany. Nadal istnieją wątpliwości odnośnie skutków, jakie mogą wywołać dawki rzędu 0,1 - 1 cGy dziennie w ramach ekspozycji długotrwałej lub ciągłej, a także wielokrotnie powtarzane z różną częstotliwością ekspozycje na dobę rzędu 1 - 10 cGy.

Po awarii czarnobylskiej prowadzono obserwację zwierząt żyjących na terenach o wysokim skażeniu. Wśród badanych egzemplarzy zarejestrowano przypadki odchyleń m.in. od prawidłowego obrazu krwi. Intersujący jest jednak fakt, że parametry populacji w rok po katastofie zdawały się mieścić w normie. Być może wpłynął na to fakt, że oprócz szkodliwych skutków promieniowania na terenie objętym katastrofą powstały korzystne warunki bytowania dzikich zwierząt. Tereny jeszcze niedawno zamieszkane opustoszały, a na polach zostało nieskoszone zboże.Człowiek nie przeszkadzał zwierzętom, za to zostawił mnóstwo pożywienia. Mogły więc spokojnie żyć i rozmnażać się. W rok po awarii stwierdzono, że wśród niektórych gatunków tworzą się nadpopulacje. Jeżeli idzie o genetyczne skutki u zwierząt, to jeszcze zbyt wcześnie by wyciągać jakiekolwiek wnioski. Zmiany w niektórych organizmach zwierzęcych zaobserwowane w rejonach skażonych, fałszywie zaklasyfikowano jako mutacje. W rzeczywistości są one śladami teratogenetycznymi, które nie są dziedziczone.

Oddziaływanie skażeń promieniotwórczych na florę

Działanie promieniowania jonizującego na organizmy roślinne jest dotychczas stosunkowo słabo poznane. Do najczęściej obserwowanych u roślin zmian popromiennych należy zaliczyć:

- zaburzenia wzrostu i rozwoju;
- upośledzenie zdolności rozmnażania;
- popromienne zmiany budowy i składu chemicznego form przetrwalnikowych (zarodników, nasion, owoców) oraz ich zdolności biologicznej, ocenianej najczęściej na podstawie zdolności kiełkowania.

W odniesieniu do roślin uprawnych dużo uwagi poświęca się mutacjom popromiennym, rozpatrując je przede wszystkim z punktu widzenia możliwości uzyskania nowych pożytecznych odmian.

Interesujące dane o oddziaływaniu skażeń promieniotwórczych środowiska na roślinność uzyskano po awarii czarnobylskiej. Ustalono, że w czasie opadu promieniotwórczego najbardziej i najwcześniej narażone są drzewa, których korony spełniają rolę filtra powietrza. Ocenia się, że po awarii reaktora jądrowego w Czernobylu, w strefie o promieniu 30 km pokrytej lasem drzewa przyjęły 60 - 90 % opadu promieniotwórczego. Oczekiwano, że na obszarze 20 -30 $km^2$ wokół reaktora wyginą drzewa liściaste. W rzeczywistości wokół reaktora drzewa iglaste wyginęły na obszarze 4 $km^2$, tworząc tzw "czerwony las"[10].

---

10. Lewi H.W. "Fiinf Jahre nach Tchernobyl - die radiologischen Folgende, ihre Ermittlung und Behebung (tłumaczenie w wydawnictwie "Raport w sprawie następstw katastrofy w Czarnobylu". Wyd. PAA, Warszawa 1991 )

# 3. DEGRADACJA I DEWASTACJA ŚRODOWISKA JAKO SKUTEK UŻYCIA BRONI CHEMICZNEJ I UWOLNIENIA TOKSYCZNYCH ŚRODKÓW PRZEMYSŁOWYCH

Broń chemiczna pojawiła się na polu walki w odległej przeszłości. Jej pojawienie się ma ścisły związek z bojowym użyciem ognia i drażniących środków dymnych oraz wynalezieniem środków toksycznych. Ogień i żarzące się węgle wykorzystywano początkowo w obronie przed zwierzętami i ludźmi. Potem ogień i towarzyszący mu dym, często toksyczny, były używane przeciwko ufortyfikowanym twierdzom podczas ich zdobywania. Ten środek rażenia i okresowego obezwładniania stosowały także załogi oblężonych twierdz i miast. Związki toksyczne służyły początkowo do zatruwania sztyletów, strzał włóczni i innego rodzaju białej broni. Podczas wojen rozpowszechnione było zatruwanie wody i żywności. W wiekach średnich postęp techniki umożliwił skonstruowanie granatów i pocisków armatnich wytwarzających trujące dymy. W wieku XIX postępy chemii doprowadziły do wynalezienia wielu nowych związków toksycznych, a postęp techniki - do skonstruowania środków umożliwiających przenoszenie trucizn do celu. Wszystko to co działo się do 1914 roku w dziedzinie wytwarzania broni chemicznej było jednak zaledwie preludium do wydarzeń, które miały rozegrać się w okresie pierwszej wojny światowej. W toku jej trwania środki trujące zostały użyte z niespotykanym dotąd rozmachem. W latach 1914 - 1918 państwa biorące udział w wojnie wyprodukowały 180 000 ton różnych środków trujących. Znaczna ilość tych środków została wykorzystana na frontach pierwszej wojny światowej. W wyniku użycia kilkudziesięciu różnych środków toksycznych zatrutych zostało prawie 1 300 000 żołnierzy, z tego ponad 90 000 zmarło. Po zakończeniu wojny społeczność międzynaro-

dowa uznała że broń chemiczna jest bronią niehumanitarną. Pod jej naciskiem w czerwcu 1925 roku przedstawiciele większości państw podpisali Protokół Genewski zakazujący używania na wojnie gazów duszących, trujących i podobnych oraz środków bakteriologicznych. Podpisanie Protokołu Genewskiego nie zapobiegło dalszemu rozwojowi broni chemicznej. W okresie międzywojennym i później, już po zakończeniu drugiej wojny światowej, wynaleziono wiele nowych środków toksycznych. Część z nich znalazła się w arsenałach broni chemicznej. Mimo zawartego w protokole zakazu użycia broni chemicznej znalazła ona wszechstronne zastosowanie w wielu wojnach i konfliktach lokalnych. Już w okresie międzywojennym Włosi użyli iperytu przeciwko Etiopczykom, a Japończycy różnego rodzaju środków trujących w toku wojny prowadzonej przeciwko Chinom. Po drugiej wojnie światowej Stany Zjednoczone używały środki niszczące roślinność oraz środki drażniące w wojnie prowadzonej na Półwyspie Indochińskim. Środki trujące były również użyte w toku wojny iracko - irańskiej. Przez cały okres "zimnej wojny" istniała potencjalna groźba użycia broni chemicznej w ewentualnych działaniach zbrojnych między Wschodem i Zachodem. Ostatnio, w marcu 1995 roku jeden z groźniejszych środków trujących - sarin - został użyty przez sektę religijną "Najwyższa Prawda" w tokijskim metrze i metrach innych japońskich miast. Broń chemiczna znajduje się aktualnie w wyposażeniu kilkunastu państw, w tym przede wszystkim Stanów Zjednoczonych i Rosji. Zgodnie z postanowieniami "Konwencji o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz zniszczenia jej zapasów" ma ona być zlikwidowana w ciągu 10 lat od wejścia konwencji w życie. Dziś wiadomo, że może to nastąpić nie wcześniej niż po 2005 roku. Nie wiadomo też czy wszystkie państwa dysponujące bronią chemiczną konwencję ratyfikują. Na pewno w ciągu najbliższe-

go dziesięciolecia broń chemiczna pozostawać będzie w arsenałach środków rażenia.

Zagrożenia dla środowiska stwarzają też związki toksyczne produkowane i przetwarzane w przemyśle. Po wydostaniu się ze zbiorników stacjonarnych lub ruchomych, na skutek awarii lub zniszczenia, skażają one glebę lub atmosferę, a często również i środowisko wodne, przy czym w wielu przypadkach może w rezultacie skażenia nastąpić dewastacja lub degradacja środowiska.

Oddzielną grupę środków toksycznych stanowią związki toksyczne przeznaczone do niszczenia roślinności tzw. środki fitotoksyczne. Są one produkowane w większości krajów o rozwiniętym przemyśle chemicznym i znajdują powszechne zastosowanie do zwalczania chwastów. Zwiększenie dawki środka fitotoksycznego na jednostkę powierzchni może doprowadzić do dewastacji i degradacji środowiska naturalnego. Nie można wykluczyć możliwości użycia tych środków do celów wojskowych ze względu chociażby na ich powszechną dostępność, mimo, że w świetle prawa międzynarodowego takie działanie będzie nielegalne[11].

Broń chemiczna, toksyczne środki przemysłowe oraz środki fitotoksyczne mają wspólną cechę - są związkami toksycznymi. Różnią się przeznaczeniem, właściwościami fizycznymi, chemicznymi i toksycznymi, sposobami użycia oraz skutkami oddziaływania na środowisko. Celowe jest więc wyodrębnienie a następnie zbadanie problemów degradacji i dewastacji środowiska przez poszczególne rodzaje rozpatrywanych środków.

---

11. 18 maja 1977 roku przedstawiciele 20 państw (w tym USA i ZSRR) podpisali konwencję o zakazie wojskowego lub innego szkodliwego wykorzystania środków oddziaływujących na środowisko naturalne ( w tym fitotoksycznych). Konwencja weszła w życie 5 10 1978 r.

W każdym przypadku celowe jest znalezienie odpowiedzi na pytania:

- czy rozpatrywane środki mogą spowodować degradację i dewastację środowiska naturalnego ?
- w jakich warunkach może dojść do degradacji i dewastacji środowiska ?
- jakie zmiany mogą mieć miejsce w środowisku naturalnym na skutek oddziaływania poszczególnych rodzajów związków toksycznych ?
- jaka jest istota procesów zachodzących w środowisku pod wpływem oddziaływania poszczególnych rodzajów środków toksycznych ?
- jakie są możliwości przeciwdziałania dewastacji i degradacji środowiska oraz rekultywacji środowiska ?

Odpowiedzi na tak sprecyzowane pytania znajdą się w kolejnych podrozdziałach niniejszej pracy.

## 3.1. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia bojowych środków trujących

Bojowe środki trujące to wyselekcjonowane toksyczne związki chemiczne, przeznaczone do użycia na polu walki w celu porażenia ludzi, skażenia terenu (środowiska) i sprzętu bojowego. W arsenałach wojskowych znajdują się od czasu pierwszej wojny światowej. Zmienił się oczywiście ich zestaw. Środki trujące używane masowo w czasie pierwszej wojny światowej, takie jak chlor, fosgen, difosgen, chloropikryna, cyjanowodór, chlorocyjan, chlorek benzylu, chloroacetofenon, metylochloroarsyna i inne zostały zastąpione przez środki trujące drugiej generacji[12]. Te ostatnie pojawiły się w arsenałach wojskowych tuż

---

12.Niektóre środki trujące pierwszej generacji używane na polach bitew w latach 1915 - 1918 znalazły zastosowanie w przemyśle. Stanowią zagrożenie dla wojsk jako toksyczne środki przemysłowe.

przed drugą wojną światową. W toku drugiej wojny światowej i po jej zakończeniu arsenał tych środków znacznie się powiększył.

Bojowe środki trujące, pozostające obecnie w wyposażeniu wojsk, zgodnie z przeznaczeniem taktycznym, dzielą się na cztery grupy:

- śmiertelne;
- powodujące czasową utratę zdolności bojowej żołnierzy (psychochemiczne);
- drażniące (policyjne);
- ćwiczebne.

Głównymi przedstawicielami śmiertelnych środków trujących są środki o działaniu paralityczno - drgawkowym (VX, soman, sarin) oraz parzącym (iperyt siarkowy i iperyty azotowe).

VX i soman wnikają do organizmów żywych przez drogi oddechowe, oczy, układ pokarmowy i skórę. Po dostaniu się na skórę szybko zostają wchłonięte i rozprowadzone przez krew po całym organiźmie, porażając centralny układ nerwowy. Sarin dostaje się do organizmu głównie przez drogi oddechowe i oczy.

Środki o działaniu paralityczno - drgawkowym mają właściwości kumulacyjne i nawet przy małych stężeniach i długotrwałej ekspozycji powodują porażenia. Objawami porażeń są: mioza, drgawki mięśni, trudności w oddychaniu, konwulsje i paraliż.

Iperyt - środek trujący użyty jeszcze w okresie pierwszej wojny światowej - wciąż jest pełnowartościowym środkiem dzięki swoim właściwościom fizykochemicznym i toksycznym. Jest to małolotny, trwały środek trujący, tworzący niebezpieczne stężenia par nad skażonym terenem w postaci kropel, mgły i par powodując porażenie skóry i oczu. Przy miejscowym rażeniu występuje ogólne zatrucie organizmu. Charakteryzuje się ono okresem utajonym. Ponadto iperyt ma właści-

wości kumulowania się w organiźmie. Na uwagę zasługuje fakt, że przeciw iperytowi nie ma odtrutki.

Psychochemiczne środki trujące specyficznie działają na centralny układ nerwowy. Znanym przedstawicielem tej grupy jest środek trujący BZ, pozostający w wyposażniu armii Stanów Zjednoczonych. Stosuje się go w celu wywołania paniki wśród żołnierzy lub ludności cywilnej i uniemożliwienia logicznego działania w decydujących okresach walki (sytuacji). Działając na układ nerwowy środek BZ wywołuje apatię, ból głowy, osłabienie wzroku, senność, rozdrażnienie psychiczne (zaburzenia świadomości i myślenia, halucynacje wzrokowe i słuchowe, bredzenie), zaburzenia normalnych funkcji organizmu, zawroty głowy, wzrost temperatury ciała.

Drażniące środki trujące działają drażniąco na oczy i drogi oddechowe. Na skórę działają podobnie jak pokrzywa. Przy dużych stężeniach wywołują duszności i wymioty. Znanymi przedstawicielami tej grupy środków trujących są chloroacetofenon, adamsyt i środek CS.

Wymienione wyżej środki trujące mogą być przenoszone do celu przez lotnictwo, rakiety, artylerię lufową i rakietową, fugasy chemiczne, rozpylacze (generatory) aerozolu, pociski i granaty chemiczne. Amunicja wypełniona bojowym środkiem trującym przechowywana jest w magazynach amunicji specjalnej.

Zagrożenie dla wojsk ze strony bojowych środków trujących jest wciąż realne, mimo istniejących zakazów zawartych w prawie międzynarodowym[13)].

Stąd też wciąż aktualny jest problem zagrożenia wojsk i środowiska bojowymi środkami trującymi.

Bojowe środki trujące mogą dostać się do środowiska w rezultacie:

---

13.Protokół Genewski z czerwca 1925 roku oraz Konwencja Paryska ze stycznia 1993 r.

- rozerwania pocisków artyleryjskich i rakietowych, bomb lotniczych i fugasów chemicznych;
- wylania środków trujących z przyrządów wylewczych podwieszonych na zamkach samolotu oraz z głowicy rakiety typu zbiornikowego;
- wytworzenia aerozoli przez odpowiednio do tego przygotowane generatory i spalanie świec dymnych zawierających środek trujący.

W wyniku osiadania aerozolu lub kropel środka trującego następuje skażenie terenu. Na lądzie powstaje strefa skażenia chemicznego. Jest to powierzchnia, w której granicach skażeniu ulega teren wraz ze znajdującymi sie na nim obiektami. Z powierzchni tej rozprzestrzenia się obłok skażonego powietrza. Strefa skażenia chemicznego obejmuje rejon użycia broni chemicznej oraz strefę rozprzestrzeniania się skażonego powietrza. Rejon użycia broni chemicznej z kolei to powierzchnia, na którą dokonano uderzenia bronią chemiczną: nastąpiły na niej wybuchy amunicji chemicznej lub uległa ona skażeniu w wyniku wylania na nią środka trującego. Rozmiary rejonu użycia broni chemicznej zależą od rodzaju użytego środka trującego, rodzaju środków przenoszenia amunicji chemicznej i ich liczby (ilości dywizjonów artylerii, wyrzutni lub samolotów, które wykonały uderzenie) oraz rodzaju obiektu, na który uderzenie zostało wykonane. Przedstawiono je w tabeli 14.

Z informacji zamieszczonych w tabeli 14 wynika, że rozmiary rejonów użycia środka trującego są zróżnicowane. Mieszczą się bowiem w przedziale od kilku hektarów do kilku kilometrów kwadratowych. Gęstość skażenia powierzchni jest przy tym niewielka. Wynosi dla VX i somanu 0,2 g/m2, dla sarinu - 1 - 2 g/m2, a dla iperytu 22 g/m2.

Ciekłe środki trujące, które osiadły na powierzchni ziemi, stopniowo odparowują. Proces ten zależy w znacznym stopniu od temperatury otoczenia. Im wyższa temperatura tym bardziej intensywny jest proces odparowania.

Tabela 14

## Rozmiary rejonów użycia bojowych środków trujących podczas rażenia różnych obiektów

| Środek przenoszący amunicję chemiczną | Ilość da (wyrzutni samolotów) | Obiekt uderzenia | | Powierzchnia rejonu użycia (ha) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nazwa obiektu | zajmowana powierzchnia (ha) | Sarinu | Iperytu | VX |
| Bateria artylerii | 1 | Pluton, Bateria | 4 - 6 | – | 5- 7 | 7 |
| da | 1 | SD, pluton | 2 | 3 | – | – |
| da | 3 | pluton, bateria, SD oddziału | 4 - 6 | 5 - 7 | – | – |
| da | 1 | kompania, SD DZ | 40 - 50 | – | 50 | – |
| Pluton wyrzutni | 3 | pluton, bateria, SD oddziału | 4 - 6 | 25 | – | – |
| Pluton wyrzutni | 3 | kompania, SD DZ | 40 - 50 | – | 30 | – |
| Bateria wyrzutni | 9 | kompania | 40 - 50 | 63 | 63 | – |
| Bateria wyrzutnii | 9 | da | 200 | – | 170 | – |
| Rakicty niekierowane | 1 | bateria, SD oddziału | 4 - 6 | 16 | – | – |
| Rakiety niekierowane | 1 - 2 | kompania, SD DZ | 40 - 50 | 64 | | |
| Rakiety kierowane | 2 - 6 | Bateria startowa, SD ZO | 200 - 400 | 250 | – | – |
| Samoloty myśliwsko - bombowe | 2 | bateria | 4 - 6 | 16 | – | – |
| Samoloty myśliwsko - bombowe | 2 | wojska, stanowiska dowodz. | 50 - 100 | – | 350 | – |
| Samoloty myśliwsko - bombowe | 2 - 4 | kompania, SD DZ | 40 - 50 | 48 | – | – |
| Samoloty myśliwsko - bombowe | 4 | wojska, stanowiska dowodz. | 600 - 1000 | – | 700 | – |
| Pole fugasów chemicznych | 1 | kompania | 40 | – | 30 | – |
| Pole fugasów chemicznych | 1 | kompania | 40 | – | – | 27 |

Uwaga: Tabelę opracowano na podstawie danych zawartych w "Metodyce oceny sytuacji chemicznej" Wyd. MON Warszawa, 1980.

Poza tym mają miejsce procesy sorpcji środków trujących na powierzchni ziemi, w głębi gleby i innych materiałów oraz procesy hydrolizy. Wszystkie te czynniki powodują zmniejszenie się gęstości skażenia w terenie wraz z upływem czasu. Środki trujące charakteryzuje w związku z tym taki parametr jak trwałość. Pod tym pojęciem rozumie się zdolność środka do zachowania rażącego działania w stosunku do ludzi znajdujących się w skażonym terenie bez środków ochrony. Trwałość mierzy się czasem, po upływie którego żołnierze (ludność cywilna) mogą bezpiecznie pokonywać skażony teren lub przebywać w nim przez długi czas bez środków ochronnych. W związku z możliwością porażenia żołnierzy środkiem trującym, zarówno w postaci kropel jak i par, rozróżnia się trwałość działania kropel i trwałość działania par. W większości przypadków trwałość działania kropel jest mniejsza lub równa trwałości działania par. Orientacyjne trwałości działania środków trujących w terenie są podane w tabeli 15.

Z informacji zawartych w tabeli 15. wynika, że trwałość poszczególnych środków trujących w terenie jest zróżnicowana. Maksymalne trwałości występują w niskich temperaturach i wynoszą od kilku dni (sarin) do 4 miesięcy (VX). Zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami, trwałość środków trujących zmniejsza się znacząco wraz ze wzrostem temperatury gleby. Po czasie wskazanym w tabeli teren powinien być wolny od obecności środków trujących. Degradacja rodowiska naturalnego skażonego środkiem trującym jest więc ograniczona czasem trwałości tego środka w terenie.

Tylko w czasie obecności środka trującego w terenie możliwe są porażenia ludzi i zwierząt. Porażenie roślinności przy obecnych gęstościach skażania bojowymi środkami trującymi są mało prawdopodobne. Potwierdzają to wnioski z bojowego użycia środków trujących w minio-

Tabela 15

## Trwałość środków trujących w terenie słabo pociętym

| RodzajST Stan bojowy Środki przenoszenia | | Temperatura gleby (stopnie Celsjusza) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | -20 | -10 | 0 | | 10 | | 15 | | 20 | | 30 | | 40 | |
| | | Prędkość wiatru (m/s) | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3-5 | 3-5 | 1-2 | 3-5 | 1-2 | 3-5 | 1-2 | 3-5 | 1-2 | 3-5 | 1-2 | 3-5 | 1-2 | 3-5 |
| Sarin pary | pociski kasety | 8 d | 3 d | 1 d | 13-20h | 13 h | 6-9 h | 10 h | 4-7 h | 6 h | 3-5 h | 3 h | 2-3 h | 2 h | 1 h |
| | bomby | 11 d | 5 d | 1,5d | 22-29 h | 17 h | 10-14h | 13h | 8-10h | 8 h | 5-7 h | 4 h | 2-4 h | 2 h | 2 h |
| soman | krople | 2-5 d | d | 12 h | | 7 h | | 5 h | | 3 h | | 1,5h | | 1 h | |
| pociski kasety | pary | 35 d | 11 d | 3 d | 3 d | 1,5d | 30 h | 24 h | 22 h | 23 h | 14 h | 8 h | 7 h | 5 h | 3 h |
| VX | posiski fugasy | do 4 m | 1,5 m | 17 d | | 7 d | | 5 d | | 3 d | | 1 d | | 12 h | |
| krople pary | LPW | do 4 m | 2 m | 1 m | | 11 d | | 8 d | | 5 d | | 2 d | | 1 d | |
| Iperyt pociski | krople | 3 d | 32 h | 16 h | 12 h | 8 h | 6 h | 6 h | 5 h | 4 h | 3 h | 3 h | 2 h | 2 h | 1 h |
| fugasy | pary | 16 d | 18 d | 4 d | 3 d | 2 d | 1,5d | 1,5d | 1 d | 18 h | 17 h | 14 h | 11 h | 8 h | 6 h |
| XR aerozol | rakiety | Trzy miesiące przy suchej pogodzie | | | | | | | | | | | | | |
| BZ aerozol | bomby | do 10 h | | | | | | | | | | | | | |
| CS pary | pociski kasety | do 2 godzin | | | | | | | | | | | | | |
| | bomby kontenery | Jeden miesiąc przy suchej pogodzie i do dziesięciu dób przy deszczowej | | | | | | | | | | | | | |
| Iperyt zagęszczony | Wszystkie środki | 10 d | 5 d | 3,5d | 3 d | 2 d | 2 d | 1,5d | 30 h | 1 d | 1 d | 17 h | 15 h | 6 h | 5 h |
| Luizyt zagęszczony | Wszystkie środki | 3,5d | 2,5d | 33 h | 29 h | 22 h | 20 h | | | 14 h | 12 h | 7 h | 6 h | 3 h | 2 h |
| Mieszaniny iperytu z luizytem | krople | 4 d | 30 h | 13 h | 7 h | 5 h | 3 h | | | 3 h | 2 h | do 2 h | do 1 h | do 1 h | do 1 h |
| | pary | | | 5 d | 2 d | 35 h | 20 h | 30 h | 15,5 h | 24 h | 11 h | 11 h | 6 h | | |
| Zagęszczone mieszaniny iperytu z luizytem | Wszystkie środki | 8 d | 4 d | 3 d | 2,5 d | 2 d | 1,5 d | | | 30 h | 26 h | 15 h | 13 h | 5 h | 5 h |

Uwaga: W okresie letnim w lesie trwałość sarinu, somanu i iperytu w postaci par jest dziesięć razy większa niż podano w tabeli. Podczas określania trwałości w terenie równinnym dane z tabeli należy pomnożyć przez współczynnik 0,8.

Źródło: Metodyka oceny sytuacji chemicznej wyd. MON, W-wa 1981, str. 59-60.

nych wojnach. Nie ma dowodu na to że środki trujące zastosowane w okresie pierwszej wojny światowej i w okresie późniejszym - chlor, fosgen, iperyt czy gazy łzawiące - wywarły ujemne skutki ekologiczne. Mimo, że stężenia rozpatrywanych środków wynosiły niekiedy setki kilogramów na hektar, obszary te dawno już wróciły do normalnego życia gospodarczego.

Bojowe środki trujące z grupy środków fosforoorganicznych nigdy nie były stosowane w czasie wojny. Nie ma więc żadnych doświadczeń, które pomogłyby w określeniu ich ewentualnych długotrwałych skutków. Jeżeli byłyby użyte do rażenia celów na powierzchniach rzędu kilometrów kwadratowych można oczekiwać, że zakłócenie równowagi biologicznej będzie krótkotrwałe. Dynamiczna równowaga biologiczna w środowisku mogłaby zostać jedynie w przypadku skażenia dużych obszarów i zniszczeniu tam wszystkich postaci życia zwierzęcego.

Środki trujące mogą również skazać otwarte zbiorniki wodne położone na drodze rozprzestrzeniania się obłoku skażonego powietrza. Niektóre środki trujące (np. sarin) rozpuszczają się w wodzie, inne (np. VX, soman) są w wodzie nierozpuszczalne. Rzutuje to na okres skażenia zbiorników z wodą. Podczas stosowania przez przeciwnika sarinu, iperytu oraz toksyny botuliny (XR) skazenie zbiorników z wodą stojącą utrzymuje się przez kilka godzin, a nawet dób, przy skażeniu somanem nawet do kilku tygodni i przy skażeniu VX - do kilku miesięcy. Czas samoczynnego odkażania wody w otwartych zbiornikach, w wyniku rozkładu środka trującego do dopuszczalnych stężeń, jest podany w tabeli 16.

Tabela 16

Czas samoczynnego odkażania wody w otwartych zbiornikach w wyniku rozkładu środków trujących do dopuszczalnych stężeń

| Rodzaj środka trującego | Pierwotne skażenie zbiornika wodnego w mg/dm3 | Czas rozkładu środka trującego w wodzie (w dobach) przy temperaturze 0 °C | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| sarin | 1 - 2 | 32 | | 11 | 18 7 | 4 |
| soman | 0,3 - 0,4 | 142 | 81 | 44 | 25 | 15 |
| VX | 0,2 - 0,3 | 1170 | 812 | 560 | 404 | 309 |
| iperyt | 6 - 7 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,01 |
| XR | - | 7 | 6 | 4 | 3 | 2 |

Źródło: Metodyka oceny sytuacji chemicznej, wyd. MON, Warszawa 1981, str. 65.

Skażenie wody w rzekach, (kanałach, potokach) szybko się zmniejsza. Ocenia się, że po upływie 1 godziny od użycia broni chemicznej w rejonie pierwotnego skażenia nie powinno przekraczać dopuszczalnych wielkości.

Możliwość wykorzystania wody do celów spożywczych i technicznych określa się na podstawie wyników analizy próbek wody pobranych ze zbiorników. Przeprowadzający analizę przy jej weryfikacji uwzględniają dopuszczalne stężenia i dawki środków trujących w wodzie i żywności.

Podsumowując należy podkreślić, że w wyniku dostania się środków trujących do zbiorników wodnych ma miejsce degradacja środowiska wodnego, przy czym jest ona ograniczona w czasie. Ograniczenia wynikają z okresu utrzymywania się skażenia w wodzie. Po jego ustąpieniu stan środowiska wodnego wraca do stanu normalnego. Należy też podkreślić, że skażenia stwarzają zagrożenia, głównie dla ludzi (i innych ssaków) wykorzystujących wodę do celów spożywczych i technicznych.

W literaturze brak jest danych o wpływie małych stężeń środków trujących na organizmy ryb i inne, żyjące w środowisku wodnym. Można przypuszczać, że ze względu na niewielkie stężenia środków trujących oraz ograniczony czas ich działania, wpływ ten na florę może być znikomy, istotny zaś dla fauny, szczególnie w odniesieniu do ryb i ptaków.

## 3.2. Degradacja i dewastacja i środowiska jako skutek uwolnienia toksycznych środków przemysłowych

"Toksyczne środki przemysłowe" (TŚP) są to związki chemiczne o właściwościach trujących, wykorzystywane w dużych ilościach w przemyśle, bądź przewożone środkami transportowymi, posiadające zdolność łatwego przechodzenia do atmosfery w przypadku zniszczenia (awarii) urządzeń i wywołąnia porażeń wojsk (ludności)[14].

Znajdują one obecnie stosunkowo duże zastosowanie. Jest to związane z rozwojem wielu gałęzi przemysłu, które potrzebują coraz większych ilości związków chemicznych niezbędnych w procesach technologicznych. To z kolei wymaga ich wytwarzania i przewozu w wielkich ilościach. Niektóre z tych związków mają właściwości toksyczne i te właśnie związki zalicza się do TŚP.

Z kilkudziesięciu tysięcy substancji chemicznych znanych i produkowanych współcześnie przez przemysł jedynie nieco ponad sto można zaliczyć do szczególnie niebezpiecznych, mogących po uwolnieniu do środowiska spowodować porażenia ludzi. W warunkach naszego kraju liczba ta jest jeszcze mniejsza i w praktyce sprowadza się do kilkudziesięciu toksycznych środków przemysłowych.

---

14.Źródło: Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi, Warszawa 1993, str. 7.

W tabeli 17 przedstawiono zastosowanie ważniejszych toksycznych środków przemysłowych produkowanych w Polsce.

Tabela 17

Zastosowanie toksycznych środków przemysłowych w przemyśle

| Nazwa TSP | Zastosowanie |
|---|---|
| Akrylonitryl | Produkcja włókien syntetycznych, gumy i kauczuku syntetycznego, barwników. Składnik preparatów owadobójczych. |
| Tlenki azotu | Składnik paliwa ciekłego |
| Amoniak | Produkcja kwasu azotowego, cyjanowodoru, akrylonitrylu, włókien syntetycznych, nawozów mineralnych, materiałów wybuchowych, środków chłodniczych. |
| Kwas azotowy | W syntezie organicznej przy produkcji barwników. przy nitrowaniu celulozy, w metalurgii, przy produkcji związków azotowych, nawozów. |
| Dimetylohydrazyna | Składnik paliwa rakietowego |
| Hydrazyna | Składnik paliwa rakietowego, produkcja materiałów wybuchowych, gum i wyrobów gumowych |
| Dichloroetan | Rozpuszczalnik, przygotowanie roztworów odkażających |
| Tlenek węgla | Rafinacja metali, synteza metanolu, paliwo gazowe |
| Tlenek etylenu | Synteza glikolu, etanoloaminy, eterów, barwników organicznych, gum i włókien poliestrowych |
| Ditlenek siarki | Produkcja kwasu siarkowego, wybielanie celulozy, wełny, jedwabiu, mąki kukurydzianej i cukru, środek dezynfekcyjny i chłodniczy |
| Disiarczek węgla | Produkcja włókien wiskozowych, celofanu, włókien syntetycznych, rozpuszczalników. wulkanizacja kauczuku. środek dezynfekcyjny. |
| Tetraetylek ołowiu | Znajduje zastosowanie jako antydetonator w mieszance z chlorowcopochodnymi węglowodorów |
| Fosgen | Produkcja tworzyw sztucznych, kauczuków i włókien syntetycznych, barwników i pochodnych izocyjanianów |
| Fluorowodór | Produkcja fluorowęglowodorów, tworzyw sztucznych odpornych termicznie i chemicznie (teflonów), otrzymywanie uranu z fosfatów, metalurgia |
| Chlor | Produkcja tworzyw sztucznych, środków owadobójczych, rozpuszczalników, środków dezynfekcyjnych, wybielających, piorących, produkcja gliceryny, tlenku etylenu. Oczyszczanie wody, metalurgia. |
| Chloropikryna | Środek do zwalczania szkodników w rolnictwie, dezynfekcji. Występuje jako produkt pośredni przy produkcji barwników |
| Cyjanowodór | Produkcja akrylonitrylu, akrylanów, cyjanianiów, synteza kauczuku nitrylowego, włókien chemicznych, tworzyw sztucznych, szkłą organicznego |
| Dioksyna | Produkt towarzyszący i przejściowy przy produkcji związków chloroorganicznych |

Źródło: Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi. Warszawa 1993, str. 36

Niektóre związki chemiczne spośród zamieszczonych w tabeli 17 są wytwarzane lub przetwarzane w bardzo dużych ilościach. Niejednokrotnie ich produkcja w ciągu roku wynosi dziesiątki a nawet setki tysięcy ton. Jednorazowo w zakładzie przechowuje się setki, tysiące lub dziesiątki tysięcy ton danego środka.

W czasie pokoju możliwe są awarie, a w trakcie działań bojowych także zniszczenie zakładów przemysłowych i środków transportowych zawierających toksyczne środki chemiczne stanowiące zagrożenie dla ludzi i środowiska.

Pod pojęciem awarii rozumie się sytuacje w których uwolnienie toksycznych środków przemysłowych jest rezultatem usterek urządzeń, błędów obsług, naruszenia zasad eksploatacji, przewozu, zasad bhp itp, zaś pod pojęciem zniszczenia - sytuacje, w których uwolnienie następuje na skutek działań na zakład przemysłowy czy środek transportowy broni jądrowej, konwencjonalnej lub precyzyjnego rażenia.

Uwolnienie toksycznych środków przemysłowych do środowiska może mieć w szczególności miejsce w przypadku awarii (zniszczenia) zakładów przemysłu chemicznego (petrochemicznego), rafineryjnego, tekstylnego, celulozowo-papierniczego itp. , a także magazynów, wielkich chłodni, stacji uzdatniania wody, rurociągów gazowych oraz środków transportowych obsługujących te gałęzie produkcji i urządzenia.

W zależności od skali zniszczenia (wielkości awarii) uwolnienie toksycznych środków przemysłowych do środowiska może odbywać się w sposób kontrolowany lub niekontrolowany. W przypadkach uwolnień kontrolowanych wypływ TSP zostaje ograniczony przez systemy zabezpieczające i odbywa się w zasadzie przez istniejące urządzenia (agregaty spalające, rury itp.). Uwolnienia niekontrolowane charakteryzują się częściowym lub pełnym zniszczeniem urządzeń technolo-

gicznych, systemów ochronnych, ścian zbiorników. Mogą im towarzyszyć pożary i wybuchy gazów oraz pyłów powodując w następstwie zniszczenia urządzeń i uszkodzenia sąsiednich obiektów. Mogą przy tym występować takie procesy jak:

- krótkotrwałe lub długotrwałe wysokotemperaturowe uwolnienie TŚP do atmosfery, czasem na znaczne wysokości;
- pożary obiektów będące przyczyną odparowania, spalenia i rozpadu termicznego TŚP;
- jednorazowe lub wielokrotne niskotemperaturowe uwolnienia gazów (par)ze zbiorników (składów) zawierających skroplone i lotne TŚP;
- skażenie terenu i obiektów, rzek, kanałów i innych zbiorników wodnych.

Zachowanie się toksycznych środków przemysłowych po uwolnieniu ich do środowiska będzie uzależnione przede wszystkim od ich właściwośći fizycznych, zaś oddziaływanie na ludzi i zwierzęta - od właściwości toksycznych.

Toksyczne środki przemysłowe mają zróżnicowane temperatury wrzenia i krzepnięcia, zapach i barwę, gęstość oraz rozpuszczalność. Niektóre z nich w połączeniu z powietrzem tworzą mieszanimy wybuchowe, co może komplikować sytuację w czasie akcji rartowniczych.

Właściwości fizykochemiczne wybranych toksycznych środków przemysłowych przedstrawiono w tabeli 18.

Z informacji zamieszczonych w tabeli wynika, że toksyczne środki przemysłowe mogą wystąpić w postaci gazów, cieczy i ciał stałych.

Tabela 18

## Właściwości fizykochemiczne wybranych toksycznych środków przemysłowych

| Nazwa toksycznego środka przemysłowego | Masa cząsteczkowa | Stan skupienia w temp 293 K | Zapach | Barwa | Temp wrzenia w K | Temp Krzep w K | Gęstość cieczy w temp 293 K | Gęstość par wzgl. pow. | Temp zapł. w K | Granica wybuchowości dolna | Granica wybuchowości górna | Rozpuszczalność w wodzie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Akrylonitryl | 53,06 | ciecz | Ostry, eteryczny | bezbarwna lub żółta | 350 | 190 | 0,8 | 1,83 | 0 | 3 | 17,5 | 7,3mg/ml |
| Amoniak | 17,03 | gaz | Ostry, gryący, drażniący | Bezbarwny | 239,6 | 195,3 | 0,77 | 0,59 | - | 15 | 28 | bardzo dobra |
| Anilina | 93,1 | ciecz oleista | Słaby, specyficzny | Żółto-brunatny | 457,4 | 266,8 | 1,022 | 3,22 | 349 | 1,3 | 11 | 3,4% w temp 293 K |
| Azotan amonowy | 80,05 | Ciało stałe krystaliczne | Słaby, amoniaku | bezbarwny | 483 | 442,6 | - | - | Niepalny | - | - | dobra |
| Benzen | 78,11 | Ruchliwa ciecz | Aromatyczny | bezbarwny | 353 | 278,5 | 0,879 | 2,77 | 2,62 | 1,4 | 7,3 | słaba |
| Chlor | 70,91 | gaz | ostry, gryzący | zielonożółty | 239 | 172 | 1,59 | 2,45 | - | - | - | dobra |
| Chlorobenzen | 112,6 | ciecz | charakterystyczny | bezbarwna | 405 | 228 | 1,107 | 3,88 | 301 | 1,3 | 11 | trudnorozpuszczalny |
| Chlorowodór | 36,47 | gaz | ostry, drażniący | bezbarwny | 188 | 162 | - | 1,27 | niepalny | - | - | bardzo dobrze |
| Tetraetylek ołowiu | 323,5 | ciecz oleista | słodkawy, owocowy | bezbarwny | - | 259,4 | 1,65 | 11,1 | 367 | 1,8 | nieoznaczona | nierozpuszczalny |
| Disiarczek węgla | 76,14 | ciecz | aromatyczny, słodkawy | bezbarwna | 319,2 | 162,2 | 1,26 | 2,6 | 243 | 1 | 50 | nierozpuszczalny |
| Fenol | 94,11 | ciało stałe | ostry | różowy | 455 | 315 | - | 3,24 | 348 | 0,3 | 2,34 | 8,3% przy 288 K |
| Fluorowodór | 20,01 | gaz | ostry, drażniący | bezbarwny | 312,4 | 180,7 | 0,987 | 0,71 | - | - | - | bardzo dobrze |
| Fosgen | 98,92 | gaz | gnijących liści | żółty lub zielonkjawy | 281 | 155 | 1,4 | 3,4 | niepalny | niewybuchowy | | słąbo |
| Ksylen | 106,16 | ciecz | podobny do benzenu | bezbarwny | - | 320,4 | 0,87 | 3,66 | 302 | 3 | 7,6 | słąbo |
| Kwas azotowy | 63,02 | ciecz | ostry | bezbarwny | 357--383 | 231 | 1,15--1,54 | 2,2 | niepalny | - | - | bardzo dobrze |
| Kwas siarkowy (oleum) | 98 | ciecz oleista | ostry | bezbarwny | 358--413 | - | 1,88--2,02 | 2,76 | niepalny | - | - | bardzo dobrze |
| Siarka | 32 | ciało stałe | swoisty | żółta | 713 | 386 | 1,803 | - | - | - | - | nie rozpuszcza |
| Tlenek etylenu | 44 | gaz | aromatyczny | bezbarwny | 283,5 | 385,5 | - | 1,52 | 255 | 3 | 100 | bardzo dobrae |
| Wdorotlenek sodu | 40,01 | ciało stałe | bez zapachu | biała | - | 591 | - | - | niepalny | - | - | bardzo dobrze |

Źródło:Krauze Michał, Broń chemicxzna, wyd. MON, Warszawa 1985 r.

## Oddziaływanie na środowisko toksycznych środków przemysłowych występujących w postaci sprężonych lub skroplonych gazów

Gazy są przechowywane w zbiornikach pod ciśnieniem lub w postaci skroplonej.

W przypadku zniszczenia ścian takiego zbiornika proces odparowania można umownie podzielić na trzy okresy:

- pierwszy obejmuje burzliwe, prawie natychmiastowe (1-2 min) odparowanie wskutek różnicy między prężnością nasyconych par TŚP w zbiorniku, a ciśnieniem cząstkowym w powietrzu. Proces ten jest głównym źródłem par TŚP tworzących obłok pierwotny;
- drugi okres charakteryzuje się niestałym odparowaniem wskutek gwałtownego spadku prędkości odparowania;
- trzeci okres obejmuje stałe odparowanie. Trwałość tego okresu zależy od rodzaju TŚP, jego ilości oraz warunków zewnętrznych.

W początkowym okresie uwolnienia skroplonych gazów tworzy się aerozol w postaci ciężkich chmur, które pod wpływem własnego ciężaru opadają na ziemię. Obłok w pierwszym etapie ma wyraźne granice oraz dużą gęstość optyczną i dopiero po 2 - 3 minutach staje się przezroczysty. Temperatura w obłoku jest niższa niż w otoczeniu. Wskutek dużej gęstości zasadniczym czynnikiem warunkującym przemieszczanie się obłoku w rejonie awarii jest siła ciężkości. W tym etapie formowanie się i przemieszczanie obłoku ma charakter skrajnie nieokreślony. Promień tej strefy może osiągnąć długość 0,5 - 1 km. Jest on jednocześnie promieniem rejonu zniszczenia (awarii).

Poza rejon zniszczenia (awarii) rozprzestrzeniają się obłoki pierwotny i wtórny skażonego powietrza. Zasięgi rozprzestrzeniania się tych obłoków przedstawiono odpowiednio w tabelach 19 i 20.

Z informacji zamieszczonych w tabelach 19 i 20 wynika, że zasięgi obłoków pierwotnych są znacznie większe od zasięgów obłoków wtórnych skażonego powietrza. Te pierwsze mogą rozprzestrzeniać się na odległości od kilku do kilkunastu kilometrów, drugie - na odległości od kilkuset metrów do kilku kilometrów. Zasięgi obłoków pierwotnych i wtórnych TŚP zależą w znacznym stopniu od stanu pionowej stateczności powietrza. Najmniejsze są w warunkach konwekcji i zwiększają się w warunkach izotermii a szczególnie inwersji. W tym ostatnim przypadku obłoki pierwotne TŚP mogą rozprzestrzeniać się nawet na odległości kilkudziesięciu kilometrów, a obłoki wtórne kilkunastu kilometrów. W miarę oddalania się od rejonu zniszczenia (awarii) stężenie TŚP w powietrzu systematycznie maleje i w końcu jest mniejsze od stężeń wywołujących porażenia progowe. Oznacza to, że toksyczne środki przemysłowe rozprzestrzeniają się w atmosferze dzięki poziomym i pionowym ruchom powietrza. Jeżeli nie zostaną zneutralizowane to czas ich działania (odparowania z powierzchni rozlania) może wynosić, w zależności od ilości skroplonego gazu, od kilku godzin do kilku dni. Po tym okresie zanikają wszelkie skutki uwolnienia gazowych toksycznych środków przemysłowych do środowiska naturalnego.

Toksyczne środki przemysłowe występujące w postaci par i gazów stwarzają więc znacznie większe zagrożenie dla ludzi aniżeli dla środowiska.

Tabela 19

## Zasięgi rozprzestrzeniania się obłoku pierwotnego wybranych TŚP (w km)

| Nazwa TŚP | Masa środka (tony) | Prędkość wiatru na wysokości 2m (m/s) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Konwekcja | | | Izotermia | | | Inwersja | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | 6 | 1 | 2 | 3 |
| Tlenki azotu | 10 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 2,4 | 1,6 | 1,3 | 7,5 | 4,9 | 3,2 |
| | 50 | 1,7 | 1,2 | 1,2 | 5,9 | 4,0 | 3,2 | 20,0 | 13,3 | 8,6 |
| | 100 | 2,3 | 1,7 | 1,6 | 8,8 | 5,9 | 4,7 | 31,0 | 20,0 | 13,3 |
| Amoniak | 30 | 0,5 | <0,5 | <0,5 | 1,2 | 0,8 | 0,6 | 3,6 | 2,4 | 1,5 |
| | 50 | 0,7 | <0,5 | <0,5 | 1,6 | 1,1 | 0,8 | 5,0 | 3,2 | 2,1 |
| | 100 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 2,4 | 1,6 | 1,3 | 6,7 | 4,4 | 3,4 |
| | 500 | 2,0 | 1,4 | 1,2 | 6,0 | 4,0 | 3,2 | 18,3 | 11,9 | 9,2 |
| | 1000 | 2,8 | 2,0 | 1,6 | 8,8 | 6,0 | 4,7 | 28,0 | 18,3 | 14,2 |
| | 10000 | 3,1 | 2,3 | 1,9 | 10,4 | 7,0 | 5,5 | 33,7 | 22,0 | 17,0 |
| Tlenek etylenu | <50 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| | 100 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,9 | 0,6 | 0,5 |
| | 300 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,7 | 0,5 | <0,5 | 1,8 | 1,2 | 0,9 |
| | 600 | 0,5 | <0,5 | <0,5 | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 2,5 | 1,7 | 1,3 |
| Tlenek węgla | 5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,5 | <0,5 | <0,5 | 1,5 | 1,0 | 0,7 |
| | 10 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 2,3 | 1,5 | 1,0 |
| | 50 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 2,0 | 1,4 | 1,1 | 6,6 | 4,3 | 2,7 |
| | 100 | 1,4 | 0,8 | 0,7 | 3,2 | 2,2 | 1,6 | 10,1 | 6,6 | 4,3 |
| Dwutlenek siarki | 25 | 0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,6 | <0,5 | <0,5 | 1,4 | 0,9 | 0,7 |
| | 50 | 0,8 | <0,5 | <0,5 | 1,0 | 0,7 | 0,6 | 2,3 | 1,5 | 1,2 |
| | 100 | 1,1 | 0,8 | 0,7 | 2,9 | 2,0 | 1,6 | 8,5 | 5,5 | 4,3 |
| | 200 | 1,5 | 1,1 | 1,0 | 4,1 | 3,0 | 2,4 | 12,8 | 8,3 | 6,5 |
| Fosgen | 5 | 0,9 | <0,5 | <0,5 | 1,2 | 0,8 | 0,6 | 2,7 | 1,7 | 1,3 |
| | 10 | 1,2 | 0,5 | 0,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 4,1 | 2,7 | 2,1 |
| | 50 | 2,6 | 1,0 | 0,8 | 4,3 | 2,9 | 2,3 | 11,1 | 7,2 | 5,6 |
| | 100 | 3,6 | 2,6 | 2,2 | 6,5 | 4,4 | 3,5 | 16,7 | 11,0 | 8,4 |
| | 250 | 5,0 | 3,6 | 3,0 | 12,0 | 8,1 | 6,5 | 32.0 | 20,5 | 15,5 |
| Fluorowodór | 20 | 0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,5 | >0.5 | <0,5 | 1,2 | 0,8 | 0,6 |
| | 50 | 0,7 | <0,5 | <0,5 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 1,8 | 1,2 | 0,9 |
| | 100 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | 2,4 | 1,6 | 1,3 | 6,7 | 4,4 | 3,4 |
| | 150 | 1,0 | 0,8 | 0,8 | 2,8 | 2,0 | 1,6 | 7,8 | 5,0 | 3,9 |
| | 250 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 3,9 | 2,8 | 2,2 | 11,7 | 7,5 | 5,9 |
| Chlor | 1 | <0,5 | <0,5 | < 0,5 | <0,5 | <0,5 | < 0,5 | 2,1 | 1,4 | 0,9 |
| | 10 | 0,9 | 0,6 | 0,5 | 2,7 | 1,8 | 1,3 | 8,7 | 5,7 | 3,7 |
| | 50 | 1,8 | 1,3 | 0,9 | 6,8 | 4,6 | 3,6 | 24,0 | 15,4 | 10,0 |
| | 100 | 2,9 | 2,0 | 1,7 | 9,5 | 6,4 | 5,1 | 30,0 | 20,0 | 15,4 |
| | 300 | 5,0 | 3,5 | 2,9 | 17,8 | 12,0 | 9,5 | 60,0 | 39,0 | 30,0 |
| | 1000 | 3,4 | 2,5 | 2,0 | 11,4 | 7,7 | 6,1 | 37,0 | 24,0 | 18,7 |
| | 2000 | 4,8 | 3,5 | 2,9 | 17,0 | 12,0 | 9,3 | 59,0 | 38,0 | 30,0 |

Źródło: Metodyka oceny sytuacji chemicznwj po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi, MON Warszawa, 1993 str,40-42;

Uwaga: Nie uwzględniono wpływu warunków termicznych.

Tabela 20

Zasięgi rozprzestrzeniania się obłoku wtórnego wybranych TŚP (w km)

| Nazwa TŚP | Masa środka (tony) | Piomowa statecznośc powietrza | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Konwekcja | Izotermia | Inwersja |
| Tlenki azotu | 10 | <0,5 | 1,4 | 2.0 |
| | 30 | 0,6 | 2,5 | 3,9 |
| | 50 | 0,8 | 3,2 | 5,2 |
| | 100 | 0,6 | 2,2 | 4,0 |
| Amoniak | 30 | <0,5 | 0,5 | 0,7 |
| | 50 | <0,5 | 0,6 | 0,9 |
| | 100-150 | <0,5 | <0,5 | 0,5 |
| | 500 | <0,5 | 0,6 | 0,9 |
| | 1000 | 0,7 | 2,7 | 3,5 |
| | 10000 | 0,8 | 4,0 | 5,4 |
| Tleneh etylenu | do 50 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| | 100 | <0,5 | 0,5 | 1,3 |
| | 150 | <0,5 | 0,6 | 1,7 |
| | 300 | <0,5 | 0,8 | 2,5 |
| | 600 | <0,5 | 1,0 | 3,0 |
| Dwutlenek siarki | 25 | <0,5 | <0,5 | 0,6 |
| | 50 | <0,5 | 0,6 | 0,7 |
| | 100 | <0,5 | ,0,5 | 0,6 |
| | 150 | <0,5 | 0,5 | -,7 |
| | 250 | <0,5 | 0,6 | 0,8 |
| Fosgen | 1 | <0,5 | 0,5 | 0,6 |
| | 5 | <0,5 | 1,0 | 1,4 |
| | 10 | <0,5 | 1,4 | 2,1 |
| | 50 | 0,9 | 3,3 | 5,2 |
| | 100 | 0,6 | 2,1 | 3,8 |
| | 150 | 0,8 | 2,6 | 4,8 |
| | 250 | 1,0 | 3,8 | 7,1 |
| Fluorowodór | 1 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| | 5 | <0,5 | <0,5 | 0,6 |
| | 10 | <0,5 | 0,6 | 0,8 |
| | 50 | <0,5 | 1,3 | 1,9 |
| | 100 | <0,5 | 1,1 | 1,3 |
| | 250 | <0,5 | 1,4 | 2,5 |
| Chlor | 1 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| | 30 | <0,5 | 0,8 | 1,1 |
| | 100 | <0,5 | 1,2 | 2,0 |
| | 300 | 0,6 | 2,2 | 3,8 |
| | 1000 | 1,2 | 4,6 | 8,7 |
| | 2000 | 1,5 | 6,7 | 13,0 |

Zródło: Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi , wyd. MON Warszawa 1993 r.

Uwaga: Nie uwzględniono wpływu warunków topograficznych

Świadczy o tym chociażby wypadek, który miał miejsce w 1984 roku w Indiach w stanie Pradesz. W zakładach chemicznych będących własnością koncernu Union Carbide na skutek awarii urządzeń wydostało się około 5 ton izocyjanku metylu. Spowodowało to śmierć ponad 2,5 tys. ludzi. Około 85 tys. doznało porażeń ciężkich i średnich. Długotrwałych skażeń środowiska naturalnego nie było.

Oddziaływanie na środowisko toksycznych środków przemysłowych występujących w postaci ciekłej

Wiele toksycznych środków przemysłowych występuje w postaci ciekłej. W warunkach normalnych cieczami są np: akrylonitryl, kwas azotowy, siarkowy, solny, disiarczek węgla, hydrazyna, dimetylohydrazyna, tetraetylek ołowiu, woda amoniakalna, dichloroetan oraz chloropikryna. Wymienione substancje chemiczne mają zróżnicowane właściwości fizykochemiczne i toksyczne. Jedne odznaczają się wysoką prężnością par (np. disiarczek węgla, chloropikryna). Inne odparowują stosunkowo powoli. Niektóre ciekłe substancje toksyczne (np. kwasy i zasady) mają działanie żrące w stosunku do organizmów żywych. Część z wymienionych substancji to substancje palne, np: akrylonitryl, hydrazyna, dwuetylohydrazyna, dichloroetan, disiarczek węgla, tetraetylek ołowiu. Inne ciekłe toksyczne środki przemysłowe takich właściwości nie posiadają.

Wśród ciekłych toksycznych środków przemysłowych szczególną rolę, ze względu na częstość zatrucia środowiska, spełniają ropa naftowa, olej napędowy i inne produkty ropopochodne. W warunkach pola walki ich źródłem mogą być: stacje przeładunkowe, rurociągi pa-

liwowe, miejsca dystrybucji paliw, garaże, warsztaty naprawcze, myjnie pojazdów mechanicznych, stanowiska rozgrzewania silników samolotów itp.

Wszystkie ciekłe toksyczne środki przemysłowe, w przypadku zniszczenia (awarii) zbiornika, w którym się znajdują, przedostają się do gruntu lub zbiornika wodnego (jezioro, staw, rzeka lub morze) powodując ich zanieczyszczenie.

W przypadku wycieku TŚP do gruntu ma miejsce proces ich przesiąkania do głębszych warstw ziemi. Zanieczyszczenia mogą sięgać do głębokości 30 metrów poniżej poziomu terenu. W szczególnych przypadkach mogą one przeniknąć przez szkielet gruntowy do wód podziemnych, lub na warstwie nieprzepuszczalnej utworzyć wyraźną oddzielną warstwę. Dotyczy to w szczególności różnego rodzaju paliw, które po przesiąknięciu mogą tworzyć warstwę o grubości dochodzącej do kilku metrów[15].

Grunt nasycony ciekłym toksycznym, środkiem przemysłowym nie nadaje się do gospodarczego wykorzystania. Zanieczyszczone wody podziemne trzeba uznać za niezdatne do picia i na potrzeby gospodarcze. Zanieczyszczenia wód podziemnych mogą się rozprzestrzeniać w wyniku przepływów. Zanieczyszczenia te stanowią w związku z tym bardzo poważne zagrożenie dla zbiorników wód powierzchniowych, które z reguły działają drenująco, tzn. wymuszają przepływ wód podziemnych w ich kierunku.

Skażenie gruntu ciekłymi toksycznymi środkami przemysłowymi jest z reguły długotrwałe i liczy się w latach i dziesiątkach lat.

---

15. W raporcie końcowym komisji nt. "Identyfikacja i wycena szkód ekologicznych spowodowanych przez stacjonujące w Polsce wojska Fedracji Rosyjskiej" (wyd. GIOS, W-wa 1994) stwierdzono, że w niektórych rejonach warstwa ta ma grubość 5 m.

W przypadku wycieku TŚP do wód powierzchniowych wypełniających jeziora, stawy, oczka wodne, rzeki, rzeczki, strugi, cieki wodne, kanały, rowy odwadniające, wody morskie, może nastąpić:

- rozpuszczenie się TŚP w wodzie;
- utworzenie oddzielnej warstwy TŚP na powierzchni wody (jeżeli jej ciężar właściwy jest mniejszy od ciężaru właściwego wody) , lub pod powierzchnią wody ( jeżeli ciężar właściwy TŚP jest większy od ciężaru właściwego wody).

Zarówno w jednym jak i w drugim przypadku ma miejsce łatwe i szybkie rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w środowisku wodnym. Wody płynące mają znacznie większe, w porównaniu z wodami stojącymi, właściwości rozcieńczania, absorbowania i neutralizowania toksycznych środków przemysłowych. Znajdujące się w wodzie drobnoustroje posiadają zdolność rozkładania związków organicznych. Większość naturalnych związków organicznych składa się głównie z: węgla, wodoru, tlenu oraz azotu. W wyniku działania drobnoustrojów związki te rozkładają się do dwutlenku węgla, azotanów, związków nieorganicznych lub jonów amonowych. Proces rozkładu jest procesem długotrwałym, trwającym tygodnie, miesiące, a nieraz lata. Koniecznym warunkiem oczyszczania biologicznwgo jest tlen. Im lepiej natlenione są wody tym łatwiej przebiegają procesy biologicznego ich samooczyszczania.

W procesie biologicznego oczyszczania wód istotną rolę odgrywają też takie procesy fizyczne jak rozcieńczanie, koagulacja, wytrącanie, i osadzanie, absorpcja i wymiana jonowa oraz procesy chemiczne: utleniania i redukcji, neutralizacji, hydrolizy, hydratacji itp.

Skutki ekologiczne zależą od stężenia TŚP w wodzie, rozmiarów skażenia, czasu ich oddziaływania na środowisko oraz właściwości toksycznych poszczególnych środków. W rejonie bezpośrednio przy-

ległym do miejsca wniknięcia TŚP do wód powierzchniowych stężenie może być tak duże, że nastąpi całkowita zagłada wszelkiego rodzaju życia biologicznego. W rejonach bardziej odległych mogą zginąć poszczególne zwierzęta lub rośliny wrażliwe na oddziaływanie toksycznego środka przemysłowego.

Toksyczne środki lżejsze od wody, np. ropa naftowa i produkty ropopochodne utrzymują się na powierzchni przez bardzo długi okres czasu. Tworzą cienką warstwę izolującą wodę od dopływu tlenu, przez co przyczyniają się do degradacji życia biologicznego w wodzie. Kontakt z ropą naftową i produktami ropopochodnymi jest też zabójczy dla ryb, ssaków i ptaków[16].

Rozpatrywane środki zanieczyszczają brzeg morski, w pobliżu którego żyje bogaty świat fauny i flory, wrażliwy na zatrucie. Bardzo często zanieczyszczane są plaże co powoduje duże straty gospodarcze.

Toksyczne środki przemysłowe nierozpuszczalne w wodzie opadają na dno zbiorników wodnych. Niszczą organizmy żywe, dla których dno i jego okolice są siedliskiem. Z reguły pozostają na dnie przez okres tygodni, miesięcy, a nawet lat stwarzając zagrożenie dla populacji biocenozy wodnej oraz ludzi korzystających z wody lub jej zasobów.

Wszelkiego rodzaju prace rekultywacyjne są zawsze trudne i kosztowne. Wymagają usunięcia substancji toksycznych z wody albo zastosowania fizycznych lub chemicznych, a najczęściej jednych i drugich sposobów oddziaływania na TŚP w celu jego zniszczenia.

---

16. W wyniku wycieku ropy naftowej z tankowca "Amoco Cadiz" w 1978 roku zginęło 260 tys. ton ryb, 35 tys. ptaków i 64 tys. ton ostryg (wg M. Barniera, Atlas wielkich zagrożeń, WNT Warszawa 1995, str. 12).

## Oddziaływanie na środowisko toksycznych środków przemysłowych występujących w postaci stałej

Grupa toksycznych środków przemysłowych występujących w warunkach normalnych w stanie stałym jest stosunkowo duża. Do takich substancji zaklicza się m in. dioksyny, siarkę, wodorotlenki niektórych metali, związki chemiczne zawierające tzw. metale ciężkie, detergenty, azotany polichlorowęglowodorowe, pestycydy, fenol i inne związki.

Uwolnienie TŚP występujących w stanie stałym może nastąpić przez wysypanie się na grunt lub przedostanie się ich do zbiorników wodnych.

W pierwszym przypadku ujemne skutki uwolnienia TŚP będą ograniczone do rejonu, w którym te środki się znajdą i rejonu przyległego. Z reguły środki takie mogą być stosunkowo łatwo zebrane wraz z niezbyt grubą warstwą ziemi, do której przenikną. Sytuacja może się skomplkować, jeżęli uwolnione TŚP są rozpuszczalne w wodzie i występują opady atmosferyczne. Obszar skażony może się wtedy wydatnie zwiększyć, przy czym może nastąpić skażenie warstwy ziemi o grubości do kilku metrów.

Groźniejsze sytuacje mogą mieć miejsce w przypadku "ucieczki" TŚP z instalacji przemysłowych. Przypadek taki zdarzył się w 1976 r we Włoszech w miejscowości Seveso. Z komina fabryki chemicznej wydostało się około 3 kg dioksyny - środka trującego, o którym wiadomo, że ma działanie rakotwórcze. Spowodowało to ewakuację około 700 osób z terenu skażonego oraz wyłączenie gruntów rolnych z eksploatacji na okres wielu lat. Przybliżone wartości zasięgu skażeń podczas wycieku dioksyny przedstawiono w tabeli 21.

Tabela 21

Przybliżone wartości zasięgu skażeń terenu podczas wycieku dioksyny

| Masa wycieku (kg) | Konwekcja | | | izotermia | | | | Inwersja | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Prędkość wiatru na wysokości 2m (m/s) | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 4 | 6 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 0,5 | <0,5 | <0,5 | 2,0 | 1,3 | 0,7 | 0,5 | 3,2 | 2,1 | 1,6 |
| 4 | 0,7 | <0,5 | <0,5 | 2,8 | 1,9 | 1,0 | 0,8 | 5,6 | 3,7 | 2,3 |
| 10 | 1,0 | 0,6 | 0,5 | 4,8 | 3,2 | 1,7 | 1,3 | 8,0 | 5,3 | 4,0 |
| 50 | 2,1 | 1,4 | 1,2 | 12,0 | 8,0 | 4,3 | 3,3 | 19,0 | 12,7 | 9,8 |
| 100 | 3,0 | 2,0 | 1,7 | 18,0 | 18,0 | 6,4 | 5,0 | 30,0 | 20,0 | 16,0 |

Zródło: Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi Warszawa 1993, str. 39

Uwaga: Wysokość obłoku wymienionego środka toksycznego jest zawarta w granicach od 10 do 30 m przy masie wycieku do 10 kg i od 50 do 100 m przy masie wycieku od 50 do 100 kg.

W przypadku uwolnienia TŚP występującego w stanie stałym do środowiska wodnego ważne są właściwości fizykochemiczne środka, a szczególnie jego rozpuszczalność. Jeżeli TŚP nie rozpuszcza się w wodzie (np. siarka), to większego zagrożenia poza miejscem zalegania nie powoduje.

Środek rozpuszczalny w wodzie zatruwa ją często na bardzo długi czas. Szczególnie szkodliwe są związki odporne na rozkład biologiczny, gdyż trwale utrzymują się w wodzie. Do takich zanieczyszczeń należą detergenty, poliwęglowodorowe pestycydy, policykliczne węglowodory aromatyczne, metale ciężkie. Tak samo niebezpieczne są azotany, prekursory mutagennych nitrozoamin oraz związki zawierające fosfor, prowadzące do eutrofizacji wód. Detergenty i fosforany - składniki proszków do prania również długo utrzymują się w wodzie. Pierwsze upośledzają metabolizm wielu organizmów wodnych, drugie przyspieszają niepożądany rozwój glonów.

Pestycydy, zwłaszcza polichlorowęglowodorowe, trudno ulegające biodegradacji, są bardzo niepożądane w zbiornikach wodnych,

bowiem oprócz właściwości toksycznych hamują biochemiczne oczyszczanie ścieków, a fosforoorganiczne (po rozłożeniu) powodują eutrofizację. Szczególnie groźne są polichloropochodne bifenylu (PCB), które są związkami trudno rozpuszczalnymi w wodzie, bardzo trwałymi i nieulegającymi biodegradacji. Stanowią one dodatki do farb i lakierów, plastyfikatory do tworzyw sztucznych oraz środki konserwujące i impregnujące drewno.

Wśród zanieczyszczeń nieorganicznych najbardziej szodliwe są skażenia wód metalami ciężkimi oraz nawozami syntetycznymi.

Metale ciężkie, kumulując się w osadach dennych i wchodząc w łańcuchy troficzne mogą wywołać groźne skutki w biocenozie i stanowią zagrożenie także dla zdrowia ludzkiego. Są one albo bardzo toksyczne (Hg, Cd, Pb) albo należą do mikroelementów (Sn, Cu, Mg), których zarówno nadmiar jak i niedomiar działają szkodliwie na rozwój roślin i zwierząt. Nawet zawartość w wodzie do picia nadmiaru metali potrzebnych do życia, np. żelaza, może wpływać ujemnie na zdrowie człowieka.

### 3.3. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia środków chemicznych niszczących roślinność

Środki chemiczne niszczące rolinność, zwane też środkami fitotoksycznymi, stanowią oddzielną grupę toksycznych środków chemicznych należących do pestycydów. Pestycydy to nazwa ogólna, obejmująca nie tylko środki toksyczne stosowane jako środki ochrony

roślin, ale również środki przeznaczone do zwalczania innych szkodników[17].

Środki fitotoksyczne, w zależności od skutków jakie powodują, dzieli się na: herbicydy - środki niszczące chwasty, defolianty - środki powodujące opadanie liści oraz desykanty - powodujące usychanie zielonych części roślin. Współczesne środki fitotoksyczne są pochodnymi wielu związków chemicznych, przede wszystkim organicznych. Są wśród nich również związki nieorganiczne. Większość fitotoksycznych środków trujących to ciała stałe, rozpuszczalne w rozpuszczalnikach organicznych lub w wodzie. Można je umownie podzielić na związki chemiczne totalnie zwalczające wszystkie gatunki roślin oraz związki chemiczne selektywnie niszczące niektóre rośliny, np. rośliny jednoliścienne. Niektóre z wymienionych środków fitotoksycznych działają na tkanki roślin, z których zbudowane są liście i łodygi, powodując bardzo szybkie zaburzenia w ich funkcjonowaniu, co prowadzi do gubienia liści i zniszczenia części nadziemnej rośliny. Związki te nie działają niszcząco na system korzeniowy i po pewnym czasie roślina może się odrodzić. Niektóre związki fitotoksyczne mają silne działanie ogólne, niszczące również system korzeniowy.

Większość związków fitotoksycznych znajduje zastosowanie w rolnictwie i przy odpowiednio dobranych dawkach przynosi określone korzyści ekonomiczne (niszczenie niepożądanych chwastów, sty-

---

17. Do pestycydów obok takich środków roślinobójczych jak herbicydy (niszczące chwasty), defolianty (powodujące opadanie liści) oraz desykanty i arborrycydy (powodujące usychanie roślinności) należą:
- insektycydy - środki zabijające owady,
- fungicydy - środki grzybobójcze,
- moluskocydy - środki ślimakobójcze,
- rodentycydy - środki przeciwko gryzoniom,
- nematocydy - środki przeciwko nicieniom,
- konserwanty - środki służące do konserwacji drewna,
- repelenty - substancje odstraszające szkodniki,
- atrakanty - substancje nęcące owady, gryzonie i inne szkodniki.

mulowanie chronionych gatunków roślin). Związki fitotoksyczne znajdują się więc w dyspozycji wszystkich rozwiniętych państw świata.

Nie można wykluczyć, że w warunkach prowadzenia działań zbrojnych państwa posiadające środki fitotoksyczne sięgną po nie w celu niszczenia roślin uprawnych lub innych na terytorium przeciwnika, chociaż jest to niezgodne z prawem międzynarodowym[18].

Nie jest to idea nowa. Już w biblii znajdujemy informację, że jeden z królów izraelskich, Abimelech syn Jerubbaala walcząc o opanowanie miasta Szechem (leżącego w pobliżu dzisiejszego Nablusu) nie mogąc go zdobyć zniszczył otaczające miasto uprawy posypując je solą. Historia wojen dostarcza wielu innych przykładów niszczenia roślinności przy pomocy ognia lub innych środków.

Zastosowanie nowoczesnych herbicydów zaczęło się jednak dopiero od okresu drugiej wojny światowej. Było ściśle związane z rozwojem chemii, a szczególnie z wynalezieniem i zastosowaniem związków chemicznych pochodnych kwasu fenoksyoctowego. Problematyką użycia tych środków w charakterze środków niszczących roślinność zainteresowały się rządy Stanów Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii. Podjęto działania przygotowujące do użycia tych środków. W 1945 roku wysłano na dalekowschodni teatr działań wojennych 450 ton tych środków w celu ich zastosowania do niszczenia japońskich pól ryżowych. Ostatecznie do użycia środków fitotoksycznych nie doszło w związku z kapitulacją Japonii. Po raz pierwszy zastosowali środki fitotoksyczne Anglicy w latach 1952 - 54 w toku prowadzonych przez siebie działań na Półwyspie Malajskim. Później sięgnęły po te środki oddziały amerykańskie w Wietnamie. W 1961 roku dowództwo wojsk

---

18. 18 maja 1977 r. przedstawiciele 20 państw (w tym USA i ZSRR) podpisali konwencję o zakazie wojskowego lub innego szkodliwego wykorzystania środków oddziaływujących na środowisko naturalne. Konwencja obowiązuje od 5 października 1978 r.

amerykańskich w Wietnamie opracowało plan pod kryptonimem "RANCH HAND", który przewidywał użycie środków chemicznych powodujących opadanie liści. Zgodę na użycie tych środków wyraził ówczesny prezydent Stanów Zjednoczonych John Kennedy. Chodziło o ogołocenie drzew z liści w dżungli wietnamskiej i uczynienie jej bardziej przejrzystą dla patroli lotniczych poszukujących wojsk Vietkongu.

Druga faza stosowania środków fitotoksycznych rozpoczęła się w 1964 roku i objęła ich użycie przeciwko uprawom. Chodziło o zniszczenie plonów w rejonach będących pod kontrolą Vietkongu i stworzenie tym samym problemów żywnościowych dla mieszkającej tam ludności.

Skala użycia środków niszczących roślinność początkowo była niewielka. W październiku 1961 roku trzy specjalnie przystosowane samoloty transportowe C - 123 (UC-123), bazujące na lotnisku Ton Son Nhat, zaczęły rozpylać defolianty nad dżunglami Wietnamu. Następnie dołączyły do nich samoloty tego samego typu bazujące na lotnisku Clark Field na Filipinach. W pierwszych dwóch miesiącach prowadzenia akcji (listopad, grudzień 1961r) samoloty wykonały 60 lotów. W 1962 r wykonano już 107 lotów i rozproszono defolianty na obszarze 2300 ha. Powierzchnia poddawana defoliacji stale wzrastała w następnych latach. Największe nasilenie defoliacji odnotowano w latach 1966 - 67. później nieco osłabła. Obrazuje to tabela 22.

Z danych zawartych w tabeli 22 wynika, że obiektem oddziaływania środków fitotoksycznych były przede wszystkim lasy. Defoliacjii poddano ponad 20 000 km$^2$ dżungli wietnamskiej. Uprawy atakowane były w mniejszym zakresie. Tym niemniej zniszczono w sumie

uprawy na powierzchni przekraczającej 2100 km², co stanowiło ponad 12 % całej powierzchni Wietnamu Południowego[19].

Tabela 22
Szacunkowa powierzchnia (km²) poddawana procesowi defoliacji w latach 1962-69

| Rok | lasy | Uprawy | Ogółem |
|---|---|---|---|
| 1962 | 20 | 3 | 23 |
| 1963 | 100 | 1 | 101 |
| 1964 | 338 | 42 | 380 |
| 1965 | 630 | 267 | 897 |
| 1966 | 3001 | 421 | 3422 |
| 1967 | 6018 | 896 | 6914 |
| 1968 | 5130 | 258 | 5388 |
| 1969 | 4945 | 266 | 5211 |
| Ogółem | 20182 | 2154 | 22336 |

Źródło: The rise of CB weapons, wyd, SIPRI Sztokholm 1971 r. str. 175.

Defolianty i herbicydy używane w Wietnamie najczęściej były przygotowywane do użycia w postaci gotowych receptur, znajdujących się w 55 galonowych beczkach. Na beczkach nanoszono odpowiednie kolorowe oznakowania. Stąd wzięły się nazwy używanych receptur - pomarańczowa, biała i niebieska. Dane o poszczególnych środkach fitotoksycznych używanych w Wietnamie przedstawiono w tabeli 23.

Z informacji zawartych w tabeli wynika, że w skład większości receptur wchodziły pochodne kwasu fenoksyoctowego. Kwas 2,4 dich-

---

19. Powierzchnia Wietnamu Południowego wynosiła 173 260 km².

lorofenoksyoctowy został uznany podczas drugiej wojny światowej za najbardziej skuteczny środek fitotoksyczny. Jest to ciało stałe, bezbarwne, o temperaturze topnienia 138-141°C. W wodzie rozpuszcza się źle. Może być używany w postaci czystego kwasu lub jego soli sodowej. Kwas 2,4,5 trichlorofenoksyoctowy posiada bardzo podobne właściwości chemiczne. Czysty jest ciałem stałym, bezbarwnym, słabo rozpuszczalnym w wodzie. Jego temperatura topnienia wynosi 158°C.

Tabela 23

Dane o środkach fitotoksycznych używanych przez armię amerykańską w Wietnamie

| Nazwa receptury | Skład receptury | Właściwości fizyczne mieszanin | Stosowane dawki |
|---|---|---|---|
| Niebieska "Blue" | Kwas dimetyloarsenowy | Rozpuszczalny w wodzie Nierozpuszczalny w rozpuszczalnikach organicznych Ciężar właściwy 1350 kg/m³ | 28 l/ha |
| Pomarańczowa "Orange" | Mieszanina w stosunku 1:1 substancji 2,4,5-T (ester butylowy kwasu 2,4,5 trichlorofenoksyoctowego) i substancji 2,4-D (ester butylowy kwasu 2,4 dichlorofenoksyoctowego). W mieszaninie znajdowała się niewielka ilość dioksyny (2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p.dioksyny) | Rozpuszczalna w rozpuszczalnikach organicznych Nierozpuszczalna w wodzie Ciężar właściwy 1285 kg/m³ | 28,9 l/ha |
| Biała "White" | Mieszanina w stosunku 4:1 substancji 2,4-D (sól triizopropanoloaminowa kwasu 2,4 dichlorofenoksyoctowego) i pikloranu (kwas 4-amino - 3,5,6 trichloropikolinowy) | Rozpuszczalna w wodzie Ciężar właściwy 1150 kg/m³ | 28 l/ha (W tym: 6,73 kg/ha składnika 2,4-D 1,82 kg/ha pikloranu |

Źródło: Arthur Westing, "Herbicides in war", Taylor & Francis, London and Philadephia, 1984 s.XI

Może być używany w stanie czystym lub w postaci soli sodowej. Szczególnie nadaje się do niszczenia drzew. Pochodne butylowe wymienionych kwasów, wchodzące w skład mieszanek pomarańczowej i białej są łatwiejsze w użyciu i bardziej odporne na działanie czynników zewnętrznych.

Mieszankę pomarańczową rozpylano głównie nad dżunglą i polami uprawnymi pokrytymi roślinami szerokolistnymi. Recepturę białą stosowano do niszczenia upraw ryżu. Mieszanina oznakowana kolorem niebieskim była szczególnie skuteczna do niszczenia tzw "trawy słoni", dobrze maskującej wojska Vietkongu. Mieszaniana zawierała arsen - pierwiastek kumulujący się w glebie. Użycie herbicydów w ustalonych ilościach (0,75 - 1,5 kg/ha) jest nie tylko nieszkodliwe, lecz nawet wskazane w celu selektywnej ochrony upraw w rolnictwie oraz niszczenia chwastów. Jednakże w większych dawkach jest szkodliwe zarówno dla chwastów i uprawianych roślin oraz dla gleby.

Dawki herbicydów używanych w Wietnamie wielokrotnie przekraczały dopuszczalne normy, co pokazano w tabeli 24.

Tabela 24

Dawki herbicydów przypadające na jednostkę powierzchni (kg/ha)

| Obiekt | Rodzaj receptury | | |
|---|---|---|---|
| | Pomarańczowa | Biała | Niebieska |
| Dżungla mangrowa i zarośla | 18 - 36 | 15 - 26 | 8 |
| Uprawy zbożowe | 12 | 15 - 26 | 8 |
| Pola ryżowe | 60 | 15 - 26 | 4 |

Źródło: "The nse of CB weapons, wyd. SIPRI Stckholm 1971, str. 174.

Należy nadmienić, że w Stanach Zjednoczonych używanie w mieszaninach pestycydów niektórych składników stosowanych w Wietnamie było zabronione. Nie zezwolono np. na używanie kwasu

dimetyloarsenowego . ponieważ zawarty w nim arsen może odkładać się w organizmach ludzi, az do dawki letalnej.

Użycie poszczególnych rodzajów receptur przez armię USA w toku wojny wietnamskiej pokazano w tabeli 25.

Tabela 25

Użycie poszczególnych receptur przez armię USA w toku wojny wictnamskiej

| Rok | Nowe receptury | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Pomarańczowa | Biała | Niebieska | Ogółem |
| 1961 | ? | 0 | ? | ? |
| 1962 | 56 | 0 | 8 | 65 |
| 1963 | 281 | 0 | 3 | 283 |
| 1964 | 948 | 0 | 118 | 1066 |
| 1965 | 1767 | 0 | 749 | 2516 |
| 1966 | 6362 | 2056 | 1181 | 9599 |
| 1967 | 11891 | 4989 | 2513 | 19394 |
| 1968 | 8850 | 8483 | 1931 | 19264 |
| 1969 | 12376 | 3572 | 1309 | 17257 |
| 1970 | 1806 | 697 | 370 | 2873 |
| 1971 | 0 | 38 | ? | 38 |
| Ogółem | 44338 | 19835 | 8182 | 72354 |

Zródło: Westing A. Herbicides in war, Taylor and Francis, London and Philadelphia 1984 s.7.

Z danych zawartych w tabeli 25 wynika, że w największej ilości użyto mieszaniny oznaczonej kolorem pomarańczowym (44 338 $m^3$). Najmniej nicbieskicj (8182 $m^3$). Ma to bardzo istotne znaczenie z tego choćby powodu, że mieszanina pomarańczowa zawierała środek rakotwórczy - dioksynę, co spowodowało skażenie gleby tą substancją na bardzo rozległych obszarach Wietnamu Południowego.

Użycie poszczególnych rodzajów receptur do niszczenia różnych rodzajów roślinności przedstawiono z kolei w tabeli 26.

Tabela 26

Użycie poszczególnych receptur do niszczenia różnych rodzajów roślinności (w $m^3$)

| Rodzaj roślinności | Nazwa receptury | | | Ogółem |
|---|---|---|---|---|
| | Pomarańczowa | Biała | Niebieska | |
| Lasy | 39816 | 19044 | 1684 | 60594 |
| Romaite zadrzewienia | 709 | 529 | 312 | 1550 |
| Pla uprawne | 3813 | 212 | 6185 | 10210 |
| Ogółem | 44338 | 19835 | 8182 | 72354 |

Źródło: j.w.

Z informacji zawartych w tabeli 26 wynika, że największe ilości mieszanin fitotoksycznych zużyto do niszczenia dżungli i rozmaitych terenów zadrzewionych (około 86 %); do niszczenia pól uprawnych 14 % ogółu środków fitotoksycznych.

Zdarzało się, że tę samą powierzchnię podawano oddziaływaniu środków fitotoksycznych wielokrotnie. Było to działanie planowe, gdy okazywało się, że jednokrotne użycie środków fitotoksycznych było niewystarczające, lub nieplanowe - gdy ostrzał samolotów zmuszał je do zrzutu środka fitotoksycznego na niewielkie powierzchnie i ucieczki z rejonu działania. Problem ilustrują dane zawarte w tabeli 27.

Należy podkreślić, że środki fitotoksyczne stosowano na całym terytorium Wietnamu Południowego, od granicy z Wietnamem Północnym do delty Mekongu oraz w mniejszym zakresie na terytorium Kambodży i Laosu. Użycie środków fitotoksycznych w poszczególnych okręgach wojskowych przedstawiono w tabeli 28.

Większość, bo około 95 % środków chemicznych niszczących roślinność została rozpylona z samolotów C-123. Były to samoloty transportowe o zasięgu około 3200 km oraz ładowności do 4500kg.

Tabela 27

Krotność użycia środków fitotoksycznych na tę samą powierzchnię

| Krotność użycia herbicydów | Ilość użytego środka ($m^3$) | Wielkość skażonej powierzchni (tys. ha) |
|---|---|---|
| Raz | 31572 | 1125 |
| Dwukrotnie | 21431 | 382 |
| Trzykrotnie | 11412 | 136 |
| Czterokrotnie | 5335 | 48 |
| Pięciokrotnie | 2603 | 19 |
| Ogółem | 72354 | 1709 |

Westing A. Str.8

Tabela 28

Użycie środków fitotoksycznych w toku wojny wietnamskiej w poszczególnych regionach

| Region | Ilość użytego środka ($m^3$) | Powierzchnia użycia (tys. ha) | Stosunek powierzchni porażonej do powierzchni całkowitej (%) | Ilość herbicydu przypadająca na jednego mieszkańca(l) |
|---|---|---|---|---|
| Wietnam Płd. | 70720 | 1670 | 10 | 4,0 |
| Okręg Woj. I | 12022 | 284 | 10 | 3,9 |
| Okręg Woj. II | 14851 | 351 | 5 | 4,8 |
| Okręg Woj. III | 37482 | 885 | 29 | 7,7 |
| Okręg Woj. IV | 635 | 150 | 4 | 1,0 |
| Wietnam Płn. | ? | ? | ? | ? |
| Kambodża | 34 | 1 | - | - |
| Laos | 1600 | 38 | 0,2 | 0,6 |
| Ogółem | 72354 | 1709 | 2 | 1,6 |

Westing A. Str. 9

Samoloty wyposażono w aparaturę rozlewczą A/A 45-1 i 1000 galonowe zbiorniki. Wypełniano je 3000 litrów środka fitotoksycznego, który rozpylano na powierzchni 130 ha. Dysze rozpylające aparatury wytwarzały cząstki aerozolu o średnicy 350 μm. Jeden samolot opylał roślinność w pasie o szerokości 150 m i długości 8,7 km. Z reguły zadanie wykonywało 5 - 7 samolotów, przez co uzyskiwano porażenie roślin w planowanym pasie.

Część środków rozpylano ze śmigłowców UH-14 wyposażonych w urządzenia wylewcze M-5 oraz z odpowiednio przystosowanych samochodów. Urządzenia wylewcze M-5 montowane na śmigłowcach były przeznaczone do rozpylania płynnych receptur. Śmigłowiec zabierał od 18 do 21,5 kg substancji toksycznej. Ilość rozpylanej cieczy była regulowana przez operatora, który odpowiednio ustawiał zawory.

W czasie rozpylania herbicydów samoloty wykonywały loty na wysokości 50 - 100 m z prędkością około 240 km/h.

Śmigłowce w czasie akcji defoliacyjnej latały zwykle na wysokości około 15 - 30 m nad ziemią. Prąd powietrza od obracającego się śmigła powodował gwałtowne rozpylenie środka chemicznego wypływającego ze zbiornika.

Wojska armii Stanów Zjednoczonych stosując herbicydy, według ich oceny, w dużym stopniu osiągnęły zamierzone efekty. W miejscach użycia herbicydów poprawiła się znaczne widoczność pionowa i horyzontalna (od 60 do 90 %). Miało to niebagatelne znaczenie dla efektów działań bojowych na terytorium Wietnamu, którego 30 % stanowi różna co do gęstości dżungla i zarośla. Efektem zastosowania herbicydów były również gołe pola o promieniu kilku kilometrów wokół wiosek strategicznych, które ogrodzono drutem kolczastym w celu uniemożliwienia ludności kontaktów z Vietkongiem. W efekcie, według danych amerykańskich zmniejszyły się znacznie ilości zasadzek or-

ganizowanych przez Wietnamczyków na amerykańskich liniach komunikacyjnych, np. w rejonie Sajgonu liczba zasadzek zmniejszyła się o 90 %.

Skutki oddziaływania na roślinność można podzielić na pierwotne i wtórne, przy czym pod pojęciem skutków pierwotnych należy rozumieć te, które miały miejsce bezpośrednio po zastosowaniu defoliantów i herbicydów, zaś wtórnych - zmiany w środowisku, które nastąpiły w okresie późniejszym.

Efekty pierwotne użycia defoliantów i herbicydów w warunkach wietnamskich były zgodne z oczekiwaniami. Po rozpyleniu tych środków nad dżunglą w ciągu 2 - 5 dni opadały wszystkie liście z drzew i krzewów. Skutki były uzależnione od rodzaju rośliny poddanej defoliacji. Mieszanka "pomarańczowa" działała przy tym bardzo szybko. W przypadku opylania drzew w godzinach rannych po południu obserwowano już zwiędnięcie liści. Drzewa bardziej odporne w wypadku jednorazowego użycia herbicydów nie usychały. Jednakże kilkakrotne zastosowanie środków chemicznych nad tym samym rejonem dawało oczekiwany efekt. Ryż usychał na drugi dzień po opyleniu go mieszanką białą. Liście ryżu usychały i kurczyły się uniemożliwiając asymilację dwutlenku węgla. Sytuację pogarszał fakt, że zatruta gleba uniemożliwiała rozwój młodych roślin. Opryskiwanie mieszanką "pomarańczową"manioku powodowało gnicie jego łodygi w ciągu jednego dnia. Batat z kolei usychał w ciągu dwóch godzin, a jego podziemna część po pięciu dniach. Drzewa bananowe bezpośrednio nad ziemią rozszczepiały się, a następnie w ciągu 3 - 7 dni łamały. Kiście bananów łamały się przy najmniejszym potrąceniu. Poszczególne owoce skręcały się a ich skóra pękała. Przy mniejszych dawkach pestycydów banany dojrzewały, stawały się jednak porowate i niesmaczne. Bardzo wrażliwe na działanie defoliantów były drzewa kokosowe i chlebowe.

Usychały one w promieniu trzech kilometrów od rejonu użycia defoliantów, a ocalałe nie dawały owoców. Spryskanie w okresie owocowania powodowało pęcznienie i gorznienie owoców. Również ziarna ryżu i kukurydzy stawły się gorzkie i niejadalne. Badania wykazały, że zmniejszyła się w nich zawartość azotu i protein. Natomiast w manioku i batatach zmniejszyła się zawartość cukru.

Bardzo groźne okazało się oddziaływanie środków roślinobójczych na organizmy zwierzęce. U ptaków można było zaobserwować utratę orientacji, refleksu, paraliż i śmierć. Ginęły również masowo zwierzęta trawożerne po zjedzeniu skażonej roślinności. Bardzo groźne okazały się skutki oddziaływania środków roślinobójczych na ludzi. W wyniku ich użycia w latach 1961 - 1970 w Wietnamie zatrutych zostało 1 536 000 ludzi, z tego śmierć poniosły 1622 osoby. Obrazuje to tabela 29.

Tabela 29

Liczba ludzi porażonych środkami roślinobójczymi

| Rok | Liczba porażonych ludzi | Liczba przypadków śmiertelnych |
|---|---|---|
| 1961 | 180 | --- |
| 1962 | 1120 | 38 |
| 1963 | 9000 | 80 |
| 1964 | 11000 | 120 |
| 1965 | 146240 | 351 |
| 1966 | 258000 | --- |
| 1967 | 279700 | 253 |
| 1968 | 302890 | --- |
| 1969 | 342886 | 500 |
| 1970 (od I do X) | 185000 | 300 |
| Ogółem | 1536016 | 1622 |

Zródło: The rise of CB weapons, wyd. SIPRI, Stockholm 1971, str. 176

Pestycydy, jak to wynika z informacji zamieszczonych w tabeli, były więc nie tylko środkiem niszczącym roślinnośc i zmieniającym środowisko, alc również rażącym ludzi. Objawy pierwotnc zatrucia ludzi pokazano w tabeli 30.

Tabela 30

Pierwotne objawy porażenia ludzi pestycydami

| Objawy porażenia bezpośrednio po zatruciu pestycydami | Liczba chorych, u których wystąpiły objawy | Procent w stosunku do ogółu zatrutych |
|---|---|---|
| Uczucie gorąca, wystąpienie kataru, kichanie | 163 | 91 |
| Wymioty połączone niekiedy z biegunką | 130 | 73 |
| Uczucie ciała obcego w oku, łzawienie, niekiedy zapalenie spojówek | 130 | 73 |
| Ból głowy, astenia, | 125 | 70 |
| poparzenie skóry | 73 | 41 |

Uwaga:Skutki oddziaływania herbicydów na ludzi zostały ustalone na podstawie badań klinicznych przeprowadzonych na 179 osobach, mieszkańców rejonów poddanych odziaływaniu pestycydów w czasie od 2 miesięcy do 5 lat.

Źródło:"Wietnam - chimiczeskaja wajna", wyd Hanoi 1972, str. 61

Objawy wymienione w tabeli 30 słabły po upływie doby. Jednakże dopiero po 3 - 4 dobach skażeni czuli sie w miarę normalnie. Często występowała u nich długotrwała astenia, osłabienie wzroku, bóle głowy, bezsenność i inne objawy. Niekiedy porażeni byli zmuszeni do leczenia przez okres 2 - 3 miesięcy. Skutki wtórne działania środków fitotoksycznych w środowisku ujawniły się po wielu latach od ich rozpylenia. Okazało się, że spowodowały one degradację, a w wielu przypadkach dewastację środowiska naturalnego. Zniszczenia w środowisku objęły florę, faunę i glebę. Wywarły wpływ na zdrowie ludzi, którzy w przeszłości znaleźli się w rejonach skażonych.

Lasy poddane oddziaływaniu defoliantów w znacznym stopniu wyginęły. Zagadnienie to ilustrują dane zawarte w tabeli 31.

Tabela 31

Dane porównawcze o zalesieniu w rejonie Ma Da w prowincji Dong Nai w r. 1965 i 1973

| Rodzaj roślinności | Przed 1965 r (ha) | 1973 r (ha) | Zmiany (w %) |
|---|---|---|---|
| Lasy | 114470 | 52540 | - 54 |
| bogate | 14770 | 0 | - 100 |
| średnie i słabe | 99700 | 52540 | - 47 |
| tereny bezleśne | 37460 | 98970 | +164 |
| Grunty orne | 16500 | 16920 | + 3 |
| Ogółem | 168430 | 168430 | 0 |

Dinh Hiep, Instytut Leśnictwa, Hanoi, str. 32

Ocenia się, że straty w drzewostanie sięgnęły 20 mln $m^3$ drewna. Odrodzenie się lasów w poprzednim stanie możliwe będzie po upływie dziesięcioleci i wymagać będzie znacznych nakładów finansowych na realizację drogich przedsięwzięć agrotechnicznych. Rzecz w tym, że drzewa cenne, szlachetne trzeba posadzić i w pierwszych latach pielęgnować. Samorzutne odtworzenie dawnej struktury dżungli nie jest możliwe bez ingerencji człowieka. W rejonach poddawanych defoliacji samorzutnie odradzają sie rośliny nie mające większego znaczenia gospodarczego. Te, które znaczenie takie posiadają trzeba w znacznym stopniu zasadzić.

Z danych dotyczących co prawda konkretnego rejonu Wietnamu Południowego, ale obrazujących sytuację jaka ukształtowała się w większości rejonów poddanych defoliacji wynika, że w 8 lat po dokonaniu omawianych zabiegów zmniejszyło się znacznie (bo o 54%) zalesienie. Wyginęły całkowicie lasy cenne, o bogatym drzewostanie. Zwiększyła się za to w znacznym stopniu powierzchnia terenów bez-

leśnych, przy czym, jak stwierdzją obserwatorzy, dawne tereny leśne przekształcone zostały w obszary półpustynne. Identyczne wnioski można sprecyzować rozpatrując dane zawarte w tabeli 32. odnoszące się do lasów na półwyspie Ca Man.

Tabela 32

Roślinność na półwyspie Ca Man w dystrykcie Nam Can w prowincji Minh Hai

| Roślinność | Przed 1965 r (ha) | 1973 r (ha) | Zmiany (%) |
|---|---|---|---|
| Las mangrowy | 57850 | 26370 | - 54 |
| Rhizophora | 53330 | 20140 | - 62 |
| Pozostałe | 4520 | 6230 | + 38 |
| teren bezleśny | 7050 | 36440 | + 417 |
| Pola uprawne | 0 | 2090 | + niesk. |
| Ogółem: | 64900 | 64900 | 0 |

Wobec braku środków finansowych należy oczekiwać, że degradacja lasów wietnamskich będzie zjawiskiem długotrwałym, mierzonym w dziesięcioleciach.

Zniszczenie lasów wywarło bezpośredni wpływ na świat zwierzęcy. Część zwierząt roślinożernych padła po zjedzeniu zatrutych roślin, część z braku pożywienia. Jeszcze inna część migrowała do lasów, które nie były poddane defoliacji. W ślad za zwierzętami roślinożernymi wędrowały zwierzęta drapieżne. Wyginęła duża część ptactwa leśnego, ryb i gadów. Ucierpiały owady. W części procesy zniszczenia roślinności dotknęły też bydła i ptactwa domowego. Zaobserwowano, że niektóre gatunki ptaków zatracały zmysł orientacyjny. Wytępienie niektórych gatunków ptaków związanych z owadami pociągnęło za sobą rozmnożenie się szkodliwych owadów, w tym nosicieli niebezpiecz-

nych chorób tropikalnych (np. malarii). Zaobserwowano również intensywne rozmnażanie się szczurów i innych gryzoni, co związane było z obecnością dużej ilości rozkładającego się materiału organicznego (pnie, liście drzew, korzenie). Okazało się, że zmiany populacji zwierząt mają charakter trwały. Wynika to chociażby z danych zawartych w tabeli 33.

Po upływie prawie 15 lat od okresu intensywnego stosowania środków fitotoksycznych w strefach poddanych ich działaniu sytuacja nie powracała do normy. Wiele zwierząt poprzednio obecnych występuje bardzo rzadko lub rzadko. Inne, które występowały rzadko stały się powszechne. Taka sytuacja nie występuje w lasach, które nie były skażone środkami fitotoksycznymi.

Środki fitotoksyczne pozostawiły również trwały ślad w organizmach zatrutych ludzi. Długotrwałe oddziaływanie rozpatrywanych środków jest związane z dioksyną - środkiem, który był składnikiem receptury "pomarańczowej". Już po zakończeniu wojny wietnamskiej stwierdzono, że dioksyna jest związkiem silnie toksycznym, mającym miedzy innymi właściwości rakotwórcze. Działa przy tym przy bardzo niewielkich gęstościach skażenia i pozostaje w glebie, dzięki temu, że jest trwałym związkiem chemicznym, przez okres wielu lat. Stąd też "ucieczka" trzech kg dioksyny w Seweso (Włochy) w latach siedemdziesiątych została potraktowana jako poważna klęska ekologiczna. Tereny skażone dioksyną wyłączono z eksploatacji. 700 osób zamieszkałych w skażonym rejonie ewakuowano.

Sytuację, która obecnie ma miejsce można wytłumaczyć tym, że las rosnący obecnie różni się zasadniczo od lasu rosnącego poprzednio. Nastąpiły więc istotne zakłócenia biocenozy, które mogą się utrzymywać przez dziesięciolecia.

Tabela 33

Zmiany w faunie w dystrykcie A Luoi w prowincji Binh Tri Then według stanu z lat 1981 - 82

| Nazwa potoczna zwierzęcia | Nazwa naukowa | Występowanie przed użyciem herbicydów | Występowanie obecnie | |
|---|---|---|---|---|
| | | | W strefie poddanej działaniu herbicydów | W strefie, która nie była skażona herbicydami |
| Niedźwiedź azjatycki czarny | Selenarctos thibetanus | Obecny | rzadkie | obecny |
| Niedźwiedź malajski | Helarctos malayanus | Obecny | Rzadki | |
| Dzik | Sus sorafa | Powszechny | Rzadki | Obecny |
| Bawół dziki wodny | Bubalus bubalis | Powszechny | B. rzadki | |
| Tygrys bengalski | Feliks bengalenzis | Obecny | Rzadki | Obecny |
| Cybet szeroki | Vierra zibetha | Obecny | B. rzadki | |
| Cybet mały | Vwerricula indica | Obecny | Rzadki | |
| Jeleń jawajski | Tragulus yawanicus | Obecny | Rzadki | |
| Inna zwierzyna płowa | Family cerwidac | Powszehna | Rzadka | Obecna |
| Słoń azjatycki | Elephas maximus | Obecny | B. rzadki | |
| Gaur | Bos gaurus | Obecny | B. rzadki | |
| Gibbon | Hylobates concdor | Obecny | B. rzadki | Obecny |
| Długoogoniasta małpa indyjska | Pyghathrix nemaeus | Obecna | B. rzadka | |
| Pantera | Panthera pardus | Obecna | Brak ? | |
| Lampart | Neofalis nebuloga | Obecny | Brak ? | |
| Makak bezogonowy | Macaca spp | Obecny | Rzadki | Obecny |
| Mysz płowa | Mus cerwicolor | Nieobecna ? | Powszechna | |
| Jeżozwierze | Atherunis macrounes | Obecny | Rzadkie | |
| Jeżozwierz chiński | Hytrix hodgsoni | Obecny | Rzadki | |
| Szczur | Rathus | Rzadki | Powszechny | |
| Nosorożec | Rhinoceros sondicus | Obecny | Brak ? | |
| Sambur | Cerwus unicolor | Obecny | Rzadki | |
| Koza | Caprocornis sumatra | Powszechna | B. rzadka | |
| Wiewiórka latająca | Petaurista petaurista | Obecna | B. rzadka | Obecna |
| Tygrys | Panthera tigrus | Powszechny | Rzadki | |

Wasting. str, 51

Zmiany fauny w Wietnamie Południowym są więc istotnym składnikiem zmian składających się na dewastację środowiska po użyciu

środków fitotoksycznych. Odtworzeniu roślinności w rejonach skażonych środkami fitotoksycznymi nie sprzyjają zmiany jakie nastąpiły w glebie. Z przeprowadzonych w Wietnamie badań wynika, że są one bardzo istotne. Zmieniła się bowiem zawartość w glebie poszczególnych pierwiastków i substancji organicznych oraz często jej odczyn. Zmiany utrzymywały się po 10 latach od użycia środków fitotoksycznych. W tabeli 34 przedstawiono zmiany, o których jest mowa wyżej, przy czym odnoszą się one do różnych rejonów Wietnamu Południowego. Z informacji zamieszczonych w tabeli 34 wynika, że w każdym z rozpatrywanych przypadków wzrosła zawartość w glebie substancji organicznych. Zmiany pH miały miejsce, chociaż nie odnotowano dużych wahań tego parametru. Procentowe zmiany zawartości poszczególnych pierwiastków były za to bardzo istotne , chociaż poza zmniejszeniem się zawartości żelaza i zwiększeniem zawartości wapnia trudno znaleźć ogólne prawidłowości. Badania przeprowadzone w Wietnamie wykazały jednakże, że po użyciu środków fitotoksycznych następuje zakłócenie równowagi biologicznej i chemicznej w glebie prowadzące do uszkodzenia środowiska, a to z kolei do zmian w ekosystemie.

Tabela 34

A. Zmiany w glebie po uzyciu środków niszczących roślinność w zalesionych górskich dolinach

| Rodzaj pierwiastka (substancji) | Teren nie poddany oddziaływaniu herbicydów | Teren poddany oddziaływaniu herbicydów | Zmiany (%) |
|---|---|---|---|
| Substancje organiczne (g/kg) | 20,6 | 49,9 | +142 |
| Azot ogółem (g/kg) | 2,1 | 3,1 | +48 |
| Fosfor ogółem (g/kg) | 0,43 | 0,40 | -7 |
| Wapń (jednostek/ kg) | 4,4 | 5,6 | +27 |
| Magnez (jednostek/ kg) | 3,6 | 3,4 | -6 |
| Żelazo (mg/kg) | 796 | 255 | -68 |
| Aluminium (mg/kg) | 28,7 | 11,1 | -61 |
| Odczyn gleby (pH) | 4,4 | 5,2 | +11 |

Westing, str. 70

B. Zmiany w glebie po użyciu środków niszczących roślinność na zalesionych równinach

| | | | |
|---|---|---|---|
| Substancje organiczne (g/kg) | 38,4 | 39,5 | +3 |
| Azot ogółem (g/kg) | 3,3 | 2,4 | -27 |
| Fosfor ogółem (g/kg) | 0,20 | 0,45 | +125 |
| Wapń (jednostek /kg) | 2,5 | 2,9 | +16 |
| Magnez (jednostek /kg) | 1,5 | 3,4 | +127 |
| Żelazo (mg/kg) | 750 | 360 | -52 |
| Aluminium (mg/kg) | 5,2 | 5,6 | +8 |
| Odczyn (pH) | 5,0 | 5,1 | +1 |

Westing, str. 71

C. Zmiany w glebie po użyciu środków niszczących roslinność w deltach rzek pokrytych lasem mangrowym

| | | | |
|---|---|---|---|
| Substancje organiczne (g/kg) | 95,2 | 102,9 | +8 |
| Azot ogółem (g/kg) | 2,0 | 5,0 | +150 |
| Fosfor ogółem (g/kg) | 0,7 | 0,6 | -14 |
| Wapń (jednostek /kg) | 17,5 | 21,3 | +22 |
| Magnez (jednostek /kg) | 75 | 91,3 | +22 |
| Żelazo (mg/kg) | 2040 | 280 | -86 |
| Aluminium (mg/kg) | 0,2 | 0,5 | +150 |
| Odczyn (pH) | 6,0 | 5,8 | -2 |

Westing, str 73

Tymczasem w Wietnamie Amerykanie, w okresie od 1961 roku do 1970 roku wprowadzili do gleby około 170 kg dioksyny. Skażenie objęło wszystkie cztery regiony wojskowe. Dotyczyło praktycznie całego Wietnamu Południowego. Problem ilustrują dane zawarte w tabeli 35.

Tabela 35

Skażenie gleby dioksyną w toku wojny Wietnamskiej w poszczególnych latach

| Rok | Rejon wojskowy | | | | Ogółem |
|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | |
| 1961 | ? | ? | ? | ? | ? |
| 1962 | - | - | 0,1 | - | 0,1 |
| 1963 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,1 | 1,1 |
| 1964 | 0,6 | 0,8 | 1,9 | 0,3 | 3,6 |
| 1965 | 1,2 | 1,4 | 3,6 | 0,6 | 6,8 |
| 1966 | 4,1 | 5,1 | 12.9 | 2,2 | 24,4 |
| 1967 | 7,7 | 9,6 | 24,1 | 4,1 | 45,5 |
| 1968 | 5,8 | 7,1 | 18,0 | 3,1 | 33,9 |
| 1969 | 8,1 | 10,0 | 25,1 | 4,3 | 47,4 |
| 1970 | 1,2 | 1,5 | 3,7 | 0,6 | 6,9 |
| Ogółem | 28,9 | 35,7 | 90,1 | 15,3 | 170 |

Westing, str. 17

Długotrwałe skutki skażenia ludzi związkami fitotoksycznymi znalazły odzwierciedlenie w zwiększonej zachorowalności na niektóre choroby - astenia, neurastenia, anemia, zawały serca, choroby wrzodowe dróg pokarmowych i chroniczne zapalenia to typowe zaburzenia nękające osoby, które w przeszłości zetknęły się ze skażeniami. W tabeli 36 przedstawiono zachorowalność osób, które w przeszłości zetknęły się ze skażenimi środkami roślinobójczymi w prowincji Ben Tre w 1982 roku.

Dane zawarte w tabeli 36 w pełni potwierdzają sprecyzowane wcześniej wnioski..

Skażenia środkami fitotoksycznymi wywarło wpływ nie tylko na zdrowie osób bezpośrednio eksponowanych na ich działanie. Z badań

wynika, że skażenia rodziców nie pozostały bez wpływu na stan zdrowia ich potomstwa. Problem ilustrują dane zawarte w tabeli 37.

Tabela 36

Zachorowalność osób stykających się ze skażeniami środkami roślinobójczymi (Dystrykt Giong Trom, prowincjaBen Tre) w 1982 roku

| Nazwa choroby | Liczba zachorowań na 100 osób | | Zmiany (%) |
|---|---|---|---|
| | Przed użyciem środków roślinobójczych | Po użyciu środków roślinobójczych | |
| Astenia | 50 | 128 | +156 |
| Neurastenia | 35 | 126 | +260 |
| Anemia | 50 | 84 | +68 |
| Zawały serca | 35 | 64 | +83 |
| Chroniczny katar | 85 | 84 | -1 |
| Astma | 65 | 50 | -23 |
| Choroby wrzodowe dróg pokarmowych | 55 | 126 | +129 |
| Chroniczne zapalenie | 5 | 67 | +1240 |
| Paradontoza (zapalenie dziąseł) | 20 | 89 | +345 |
| Podrażnienie | 10 | 8 | -20 |
| Reumatyzm | 30 | 17 | -43 |

Westing, str. 117

Z danych zawartych w tabeli 37 wynika, że rodzice narażeni w przeszłości na działanie środków fitotoksycznych, w porównaniu z rodzicami, którzy nie byli poddani oddziaływaniu tych środków, wydają na świat potomstwo w znacznie większym stopniu (o 38%) z wadami wrodzonymi. U matek ciężarnych narażonych poprzednio na ska-

żenie zwiększyła się znacznie (o 21%) ilość poronień samoistnych. Obawa przed urodzeniem dzieci z wadami wrodzonymi skłaniała też matki będące w ciąży do poddania się zabiegom aborcji. Innym czynnikiem świadczącym o negatywnym wpływie środków fitototksycznych na potomstwo rodziców poddanych ich działaniu jest zwiększony procent dzieci chorych (o 52%).

Tabela 37

Dane porównawcze urodzin noworodków przez rodziców narażonych na oddziaływanie środków roślinobójczych

| Dane o urodzinach | Rodzice nie eksponowani na działanie środka roślinobójczego | Rodzice eksponowani na działanie środka roślinobójczego | Zmiany (%) |
|---|---|---|---|
| Normalne urodziny | 910 | 898 | -1 |
| Urodziny z wadami wrodzonymi | 4,27 | 5,89 | +38 |
| Martwe noworodki | 20,6 | 18,0 | -13 |
| Poronienia samoistne | 58,6 | 70,8 | +21 |
| Aborcja | 6,15 | 6,55 | +7 |
| Dzieci chore | 0,574 | 0,873 | +52 |
| Ogółem | 1000 | 1000 | |

Westing, str138

Podsumowując należy stwierdzić, że środki fitotoksyczne oddziaływując na środowisko wywierają negatywny wpływ na wszystkie organizmy, które w nim żyją, nie wyłączając człowieka.

# 4. DEGRADACJA I DEWASTACJA ŚRODOWISKA JAKO SKUTEK UŻYCIA BRONI GEOFIZYCZNEJ

W literaturze można znaleźć kilka definicji wojny, walki i broni geofizycznej. R. Mroczyński[20] definiuje to pojęcie stwierdzając, że "walka geofizyczna to kompleksowe, celowe i systematyczne wykorzystanie środków technicznych i substancji chemicznych do zmiany warunków środowiska naturalnego w strefie działań wojennych jako nowego sposobu prowadzenia wojny". W. Butyłkin i W. Dymenko uważają[22], że "wojna geofizyczna to część składowa konfliktu charakteryzująca się zamierzonym wykorzystaniem energii procesów geofizycznych do celów wojny w drodze aktywnego oddziaływania na środowisko naturalne i procesy fizyczne zachodzące w przyrodzie. Broń geofizyczna to całość środków i metod aktywnego oddziaływania, przy pomocy których osiąga się cele wojny geofizycznej".

Obydwie definicje wskazują na istotę walki lub wojny geofizycznej, sprowadzającą się do wykorzystania do celów rażenia przeciwnika zjawisk i procesów fizycznych zachodzących na kuli ziemskiej. Można zatem przyjąć, że broń geofizyczna to całość środków i metod, przy pomocy których można wpływać na procesy i zjawiska fizyczne zachodzące we wszystkich geosferach w taki sposób, że w rezultacie następują negatywne zmiany w środowisku naturalnym na terenie przeciwnika. W geofizyce wyróżnia się trzy geosfery - atmosferę, hydrosferę i litosferę. Środki i metody przy pomocy których wpływa się na procesy i zjawiska w poszczególnych geosferach zalicza się odpowiednio do broni meteorologicznej (atmosferycznej), broni hydrosfe-

---

20. Zob. Mroczyński R. "Walka geofizyczna i meteorologiczna (według poglądów zachodznich)" Wyd. ASG WP, Warszawa 1976 r.

22. Zob. Butyłkin W. Dymenko W. Niekotoryje ekołogiczeskije aspekty sokraszczenija jadiernych woorużenij. Wojennaja Mysl nr 3, Moskwa 1994

rycznej i broni litosferycznej. Podział na poszczególne rodzaje broni jest oczywiście podziałem umownym. Trzeba bowiem zdawać sobie sprawę, że poszczególne sfery są ściśle ze sobą związane i współzależne. Np. gazy, z których składa się atmosfera zawsze występują rozpuszczone w wodzie hydrosfery. Podobnie woda, z której składa się hydrosfera, bezustannie występuje w postaci pary wodnej w powietrzu atmosfery. A samo życie zależy od tego sprzężonego zwrotnie układu.

Oddziaływanie poszczególnych rodzajów broni geofizycznej może doprowadzić, przy dłuższym oddziaływaniu, do zmiany klimatu. Stąd też w literaturze przedmiotu wyróżnia się niekiedy pojęcie broni klimatycznej, obejmującej środki i metody, które doprowadzą do zmiany klimatu na terenie przeciwnika.

Broń geofizyczna to nowy rodzaj broni, która dopiero się kształtuje. W dużej części istnieje na razie tylko w postaci pomysłów, chociaż należy liczyć się z tym, że wraz z postępem nauki i rozwojem techniki mogą one znaleźć konkretne zastosowanie. Nie ulega wątpliwości, że problemy wojny geofizycznej również w przyszłości będą przedmiotem zainteresowania naukowców. Ich rozwiązanie w postaci wypracowania środków i metod oddziaływania na procesy fizyczne zachodzące w geosferze oznacza, że ludzkość otrzyma oręż, który może wykrzystać również w okresie pokojowym do modyfikowania ogromnych, bardzo często niszczących sił przyrody, zgodnie ze swoimi potrzebami.Istotne jest w związku z tym znalezienie odpowiedzi na pytanie, które ze środków i metod walki geofizycznej mogą znaleźć zastosowanie już dziś, a które należy zaliczyć do możliwych do zrealizowania w bliższej i dalszej przyszłości.

Broń geofizyczna, w odróżnieniu od innych rodzajów broni, charakteryzuje się tym, że obejmuje wiele rodzajów środków rażenia, korzysta też z różnorodnych środków przenoszenia przy pomocy któ-

rych można oddziaływać na poszczególne geosfery. Wykorzystuje wiele metod oddziaływania na procesy geofizyczne. Musi też dysponować infrastrukturą, która umożliwi wyprodukowanie środków rażenia i przenoszenia oraz użycie odpowiednich metod oddziaływania na procesy fizykochemiczne. Wielość i różnorodność środków rażenia i metod oddziaływania jest pochodną wielości procesów geofizycznych. Te ostatnie charakteryzują się ogromną energią. Stąd też znalezienie środków i metod oddziaływania na zjawiska geofizyczne zachodzące w atmosferze, hydrosferze i litosferze ma ogromne znaczenie.

Z uwagi na temat i cel niniejszej pracy istotne jest znalezienie odpowiedzi na następujące pytania:

- jakie procesy geofizyczne można wykorzystać w toku walki zbrojnej obecnie i w przyszłości?
- na czym polega istota procesów zachodzących w środowisku pod wpływem oddziaływania broni geofizycznej?
- jakie mogą być skutki użycia poszczególnych rodzajów broni geofizycznej dla środowiska naturalnego?
- jakie są możliwości przeciwdziałania degradacji i dewastacji środowiska w przypadku użycia broni geofizycznej?

### 4.1. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia broni atmosferycznej

Broń atmosferyczna (meteorologiczna) to środki rażenia i metody ich użycia ukierunkowane na oddziaływanie na powłokę gazową otaczającą ziemię i wywołujące w ostatecznym wyniku takie zmiany w atmosferze, które będą oddziaływać negatywnie na wojska przeciwnika i jego zaplecze.

W literaturze rozważa się możliwość wykorzystania takich środków rażenia i metod ich użycia, które mogą:

- oddziaływać na warstwę ozonu w atmosferze;
- wytwarzać w atmosferze sztuczne pole magnetyczne;
- zmieniać rozkład temperatury w określonym rejonie;
- wywoływać opady deszczu, śniegu lub gradu;
- zapobiegać opadom atmosferycznym i powodować suszę;
- modyfikować wyładowania elektryczne w atmosferze;
- wywoływać cyklony i umożliwiać kierowanie nimi.

Oddziaływanie na warstwę ozonu w atmosferze

Emitowane przez słońce promieniowanie elektromagnetyczne składa się z promieniowania gamma, rentgenowskiego, ultrafioletowego, widzialnego, podczerwonego i radiowego. Promieniowanie to, zanim dotrze do powierzchni ziemi, przenika przez filtr, którym jest atmosfera. W filtrze tym szczególną rolę spełnia warstwa ozonu, rozmieszczona na wysokości 10 - 15 km. Pochłania ona szczególnie niebezpieczne dla życia na Ziemi promieniowanie ultrafioletowe typu "B" (280 - 320 nm) i "A" (320 - 400 nm). Stężenie ozonu w atmosferze zmienia się. Ogólna ilość ozonu w atmosferze jest bardzo mała. Jeżeli utworzyć z niej jedną warstwę to jej grubość nie przekroczyłaby 2-4 cm. Otoczka ozonowa ziemi jest więc bardzo cienka i przy obecnym stanie techniki można ją łatwo naruszyć lub przerwać. Zniszczenie lub przerwanie warstwy ozonowej może spowodować bardzo niebezpieczne dla życia na Ziemi następstwa. Chodzi tu o masowe występowanie raka skóry i zahamowanie procesu fotosyntezy u roślin. Zniszczenie warstwy ozonowej byłoby więc groźne dla życia biologicznego na Ziemi. W stratosferze zachodzi ciągły proces tworzenia i rozpadu ozonu. Jego efektywna ilość zależy od przebiegu tych procesów. Proces ten można ukierunkować poprzez wprowadzenie do atmosfery gazów

niszczących ozon. Największym wrogiem ozonu jest chlor. Gaz ten dostaje się do atmosfery w postaci różnych związków chemicznych, przede wszystkim freonów. Związki te następnie migrują do stratosfery, czasem przez wiele lat, gdzie rozłożone zostają przez padające nań promieniowanie słoneczne i uwalniają wolny chlor. Freony w sposób naturalny w przyrodzie nie występują. Produkowane są przez przemysł. Znajdują zastosowanie jako substancja chłodząca w lodówkach i układach klimatyzacyjnych, w opakowaniach aerozolowych, w przemyśle farmaceutycznym i półprzewodnikowym oraz w produkcji pestycydów i w gaśnicach jako substancja tłumiąca ogień.

Stężenie ozonu w atmosferze mierzy się w dobsonach. Jeden dobson jest równy warstwie ozonu o grubości jednej setnej milimetra, mierzonej w normalnych warunkach. Warstwa ozonu zawarta w słupie powietrza nad powierzchnią ziemi ma zwykle od 200 do 400 dobsonów.

Emisja freonów do atmosfery w ostatnich latach spowodowała zmniejszenie się ozonu w stratosferze średnio o 2 - 3 % rocznie. Największe ubytki ozonu zanotowano nad Antarktydą, gdzie średni ubytek ozonu wynosił około 10 %.Ocenia się, że wprowadzenie freonów do atmosfery w dużych ilościach może spowodować powstanie tzw "dziury ozonowej", przez którą swobodnie będzie przenikać promieniowanie słoneczne (w tym szkodliwe ultrafioletowe) do powierzchni Ziemi. Zasadniczą sprawą jest czas wytworzenia takiej dziury. W stratosferze zachodzą bowiem ciągłe dynamiczne procesy tworzenia się ozonu. Ma również miejsce proces przypływu ozonu z rejonów nie poddanych oddziaływaniu freonów. Trzeba się więc liczyć z tym, że warstwa ozonowa z czasem ulegnie odtworzeniu. W chwili obecnej nie da się przewidzieć wszystkich skutków naruszenia równowagi warstwy ozonowej. Można oczekiwać, że przeprowadzona operacja byłaby

szkodliwa nie tylko dla wojsk przeciwko którym byłaby wykonana, ale być może również dla kraju będącego wykonawcą takiej operacji.

Modyfikacja elektrycznych stanów atmosfery

Modyfikacja elektrycznych stanów atmosfery jest możliwa w jej warstwie zwanej jonosferą. Jonosfera rozciąga się na wysokości 80 - 200 km nad powierzchnią Ziemi i składa się z szeregu warstw zjonizowanych atomów i cząstek gazów. Jonizacja atmosfery w tej warstwie spowodowana jest głównie przez promieniowanie słoneczne (ultrafioletowe i rentgenowskie) o długości fali mniejszej niż $12x10^{-5}$cm. Oznacza to, że struktura jonosfery jest inna w dzień i inna w nocy gdy promieniowanie jest zasłonięte i nie oddziaływuje na nią. Wiadomo, że warunki propagacji fal elektromagnetycznych (radiowych) zależą od stanu jonosfery, pola magnetycznego ziemi i pory roku. Naturalny stan jonosfery i pola magnetycznego Ziemi może byc naruszony (zmieniony) przez wybuchy jądrowe wykonane w kosmosie ( w jonosferze) oraz przez emisję do jonosfery cząstek elementarnych, jąder atomowych, atomów i cząsteczek. Amerykanie doświadczalnie sprawdzili skuteczność tych sposobów podczas wybuchów jądrowych w kosmosie w ramach programów "ARGUS" i "STORFISH"oraz podczas prób emisji strumieni elektronów ze sztucznych satelitów Ziemi w celu wywołania zorzy polarnej nad biegunem. Okazało się, że wywołane wskutek wybuchów jądrowych silne zaburzenia w jonosferze oraz sztucznie wytworzone trwałe pasy zjonizowane mają wyjątkowo duży wpływ na proces propagacji fal radiowych i pracę środków łączności.

Innym sposobem modyfikacji fal elektromagnetycznych oraz kierowania nimi w przestrzeni między Ziemią a jonosferą może być propagacja fal radiowych niskiej częstotliwości w taki sposób, że będą

one wpływać na zachowanie się ludzi. Można tu wykorzystać właściwości modulacji mózgu. Jego aktywność elektryczną mierzy się tzw. falami alfa, których częstotliwość wynosi około 10 herców. Liczne doświadczenia wykazały, że poddanie człowieka działaniu pola elektrycznego o natężeniu 1 - 2 V/cm, drgającego w rytmie alfa wywołuje u niego nieprzyjemne objawy. Badani poddawani oddziaływaniu słabego pola elektrycznego o podanym wyżej natężeniu , w ciągu 15 minut, przejawiali słabe, ale wyraźne odstępstwa od normy zachowania. Pole elektryczne o wymienionym wyżej natężeniu można już dziś sztucznie wywołać i utrzymywać przez dłuższy okres. W tym celu należy wybrać odpowiednio umiejscowione geograficznie źródła wyładowań, a następnie manipulując nimi stworzyć system drgań o dość dużej mocy, który przez dłuższy czas mógłby wywierać wpływ na działalność mózgu ludzi znajdujących się w wybranych rejonach.

Należy tu stwierdzić, że wpływ oscylacji słabych pól elektromagnetycznych na człowieka jest wciąż jeszcze przedmiotem badań. Na razie wiadomo na ten temat bardzo mało. Tym niemniej w literaturze spotyka się opinie[23)], że w przyszłości możliwe będzie wytworzenie silnych pól oscylacji niskich częstotliwości, co umożliwi wywieranie wpływu na zachowanie się ludzi w wybranych przez wytwarzającego to pole rejonach.

Jest rzeczą oczywistą, że tego rodzaju przedsięwzięcia mogą być realizowane wyłącznie w skali strategicznej, ze względu na to, że do ich wykonania niezbędne są silne źródła energii lub broń jądrowa pozostająca jak wiadomo w dyspozycji decydujących ośrodków politycznych i militarnych.

---

23. Zob. Mroczyński R.

Wytwarzanie w atmosferze sztucznego pola elektromagnetycznego

Wytwarzanie w atmosferze sztucznego pola elektromagnetycznego jest teoretycznie możliwe. Silne sztuczne pole elektromagnetyczne powodowałoby zakłócenia w pracy urządzeń i środków radiotechnicznych, nawigacyjnych, urządzeń do obserwacji i kierowania ogniem, aparatury pomiarowej. Z kolei sztuczne pole elektromagnetyczne o dużym natężeniu mogłby powodować porażenia ludzi. Jednak z uwagi na to, że do wytwarzania i utrzymywania takiego pola przez dłuższy czas niezbędne są olbrzymie ilości energii, przy obecnym stanie jej źródeł działanie takie praktycznie nie może być zrealizowane. Obecnie wytworzone sztuczne pola elektromagnetyczne mają mały zasięg i w związku z tym lokalne znaczenie. Zrealizowanie tego pomysłu będzie możliwe w przyszłości, kiedy pojawią się źródła energii elektromagnetycznej zdolne do wytworzenia w atmosferze sztucznego trwałego pola elektromagnetycznego o odpowiednio dużym natężeniu.

Zmiana rozkładu temperatury w określonym rejonie

Ten sposób oddziaływania na otaczające nas środowisko ma na celu wytworzenie niesprzyjających warunków agrometeorologicznych. Warunki takie można wytworzyć między innymi przez wysuszenie lub nadmierne zawilgocenie gleby oraz obniżenie temperatury w okresie wegetacji i zbioru określonych roślin.

Efekt obniżenia temperatury można uzyskać w wyniku rozpylenia w atmosferze, nad wybranym rejonem, pyłu o określonych parametrach fizykochemicznych. Pyły takie powinny być zdolne do pochłonięcia odpowiednio dużej ilości energii słonecznej. Zapylenie atmosfery nad wybranym obszarem do pożądanej gęstości i na odpowiednio długi okres, ze względów chociażby czysto technicznych, nie jest jesz-

cze możliwe. Poza tym dynamiczny stan mas powietrza, charakterystyczny dla stratosfery, będzie powodował przemieszczanie się zawieszonego pyłu poza wybrane obszary. Dla realizacji pomysłu muszą być spełnione dwa warunki. Pierwszy to znalezienie substancji chemicznej w postaci pyłu, która zawieszona w atmosferze będzie pochłaniać pasmo promieniowania słonecznego decydujące o rozkładzie temperatury na powierzchni Ziemi. Drugi to poznanie zależności, od których zależy rozprzestrzenianie się mas powietrza w stratosferze i troposferze. Idea zmiany rozkładu temperatury w określonym rejonie jest więc pomysłem, który może być zrealizowany w przyszłości.

Wywoływanie opadów deszczu, śniegu lub gradu

Sztucznie wywoływane opady mogą znaleźć stosunkowo szerokie zastosowanie na polu walki. Przy ich pomocy można:

- maskować ruchy wojsk przez utrudnienie obserwacji optycznej i radiolokacyjnej;
- utrudnić działania lotnictwa;
- utrudniać manewr wojsk przeciwnika i zakłócać jego transport, szczególnie w sytuacjach, kiedy następuje zalanie lub znaczne zawilgocenie obszaru w którym prowadzone są działania;
- uszczuplać zasoby żywnościowe przeciwnika, a nawet, w przypadku powodzi, stawiać go w obliczu klęski głodowej lub żywiołowej;
- dezorganizować pracę zaplecza.

Wywoływanie opadów jest możliwe już dziś, chociaż nie we wszystkich strefach klimatycznych. Wprowadzeni do atmosfery środków chemicznych w strefie umiarkowanej nie zawsze powoduje opady. Dobre rezultaty uzyskuje się natomiast w strefie tropikalnej.

Technologia wywoływania sztucznych opadów polega na wprowadzeniu do tworzących się chmur rozdrobnionych cząstek sub-

stancji chemicznej w celu stworzenia odpowiedniej ilości jąder kondensacji oraz substancji chemicznej obniżającej temperaturę w chmurze po to, aby ją bardziej zbliżyć do temperatury nasycenia (rosy).

Związkami chemicznymi najczęściej używanymi do tego celu są: jodek srebrowy - będący substancją wytwarzającą jądra kondensacji oraz stały dwutlenek węgla (suchy lód) do chłodzenia chmury.

Naturalny proces tworzenia się chmur deszczowych przebiega w ciepłym i wilgotnym powietrzu, które przy podnoszeniu się do góry ochładza się, a zawarta w nim para wodna kondensuje się na cząsteczkach pyłu znajdującego się stale w atmosferze. Wypadanie skondensowanych kropel zaczyna się zwykle w rezultacie dopływu do chmury ciepłego i wilgotnego powietrza z niższych warstw atmosfery. Nie z każdej chmury tworzą się krople deszczu lub kryształki śniegu i lodu. Chmura zawierajaca wilgoć bardzo często przez dłuższy czas może pozostawać "niedojrzała". Wprowadzenie do takiej chmury jodku srebrowego, dwutlenku węgla lub innych związków chemicznych intensyfikuje proces tworzenia się i powiększania kryształków lodu które po przejściu przez ciepłe warstwy powietrza wypadają na powierzchnię ziemi w postaci kropel deszczu.

Sztuczne wywoływanie gradobicia może mieć miejsce w przypadku wystąpienia chmur kłębiasto-deszczowych. Mechanizm powstawania gradu jest bardziej złożony niż proces tworzenia się deszczu. W uproszczony sposób można go przedstawić następująco: powstałe na skutek stucznie wywołanej kondensacji płatki śniegu powlekają się błonką wody, a unoszone do góry przez prądy konwekcyjne obmarzają. Wielokrotne opadanie w warstwy o dodatniej temperaturze i wznoszenie się do warstwy o temperaturze ujemnej prowadzi do powstania kulek lodu, zwanych gradowinami lub gradinami.

Według przewidywań ekspertów, rozwój techniki wywoływania opadów może w przyszłości doprowadzić do uczynienia z niej groźnego i bardzo efektywanego środka prowadzenia walki, zarówno na szczeblach taktyczno - operacyjnych jak i na szczeblu strategicznym. W tym ostatnim przypadku można wyobrazić sobie wariant, który może mieć zastosowanie w rejonach, do których napływają wilgotne chmury z jednego kierunku. Można wtedy wytrącić wilgoc przed rejonem opadów, np. nad morzem lub nad terytorium sąsiedniego państwa, co spowoduje suszę nad terytorium przeciwnika. Operacje takie mogłyby być prowadzone w sposób skryty.

Zapobieganie opadom atmosferycznym - powodowanie suszy

Sens tego sposobu prowadzenia walki polega na niedopuszczeniu do opadów atmosferycznych w określonych rejonach w okresie trwania odpowiednich cykli agrotechnicznych. Jest to działanie przeciwstawne do sytuacji powstawania deszczów, a łączy się z nim w zakresie tachnicznym. Pożądane efekty można osiągnąć przez rozpraszanie zachmurzenia oraz sztuczne wywoływanie opadów atmosferycznych na granicy określonych rejonów.

Istotne znaczenie może mieć zapobieganie gradobiciom. Z literatury[24)] wiadomo, że w niektórych państwach tworzy się strefy chronione. Strefy tworzenia się gradu w chmurach napływających do chronionych rejonów wykrywane są radarami z odległości kilkudziesięciu kilometrów. W chmury strzela się z dział przeciwlotniczych i powoduje w nich wybuchy głowic rakietowych z odpowiednimi substancjami w celu stymulacji krystalizowania się przechłodzonych kropelek i zapobiegnięcia w ten sposób powstawaniu wielkich kul lodu. Technika

---

24. Sygnały, 8(10) 76 str. 4.

ta, według podawanych informacji, cztero - pięciokrotnie zmniejsza zniszczenia spowodowane przez gradobicie.

Sztuczne wywoływanie suszy może być wykorzystywane przede wszystkim do oddziaływania na zaplecze przeciwnika, a w szczególności na jego rolnictwo Może ono doprowadzic do zachwiania potencjału żywnościowego przeciwnika oraz być przyczyną erozji urodzajnych gleb na olbrzymich obszarach. Stosowane w odpowiedniej skali i okresie mogą być efektywnym środkiem oddziaływania strategicznego

Modyfikacja wyładowań elektrycznych w atmosferze

Pioruny to potężne wyładowania elektryczności atmosferycznej między chmurą a powierzchnią Ziemi, między chmurami lub częściami chmur. Pioruny tworzą błyskawice i grzmot. Natężenie prądu w piorunie może wynosić do 20000 A.

Błyskawica z kolei to zjawisko optyczne towarzyszące wyładowaniom elektrycznym.Rozróżnia się błyskawice liniowe, wstęgowe, powierzchniowe, łańcuchowe i kuliste. Pioruny i błyskawice stanowią bardzo groźne niebezpieczeństwo dla różnego rodzaju uzbrojenia, sprzętu bojowego oraz ludzi. Grzmot jest zjawiskiem akustycznym towarzyszącym wyładowaniom elektrycznym w atmosferze.

Istota zjawiska sprowadza się do wytworzenia w czasie burzy ładunków dodatnich i ujemnych. Pierwsze transportowane są do góry, a drugie na dół. Przyczyny tej polaryzacji nie są dostatecznie wyjaśnione. Istnieją jednak dowody świadczące o tym, że określoną rolę w powstawaniu i przenoszeniu ładunków odgrywa faza lodowa. Z chwilą, kiedy pole elektryczne osiągnie wartość krytyczną następuje jego rozładowanie poprzez przepływ prądu, przy czym zjawisko objawia się poprzez błyskawice i grzmot.

W próbach modyfikowania częstotliwości i intensywności wyładowań elektrycznych stosowano trzy metody. Pierwsza polega na rozsiewaniu w chmurach burzowych (kłębiasto - deszczowych) jodku srebrowego z generatorów naziemnych. Technika ta opiera się na założeniu, że powstałe w następstwie rozsiewania jodku srebrowego kryształki lodu powodować będą dodatkowe rozładowanie korony. W reultacie nie nastąpi rozładowanie poprzez przepływ prądu między dwoma ośrodkami odmiennie naładowanymi elektrycznie. Nie ma jednąk pewności, że zjawisko to będzie miało właśnie taki przebieg. Nie można wykluczyć, że większa ilość kryształków zwiększy szybkość powstawania ładunków elektrycznych.

Druga metoda opiera się na tych samych zasadach co pierwsza, z tym , że zamiast jodku srebrowego wprowadza się w prądy burzowe miliony maleńkich metalowych igiełek. W rezultacie zwiększa się częstotliwość wyładowania korony.

Trzecia metoda polega na gwałtownym zakłóceniu pola elektrycznego, przy czym zakłócenie uzyskuje się poprzez wystrzeliwanie w chmurę burzową małej rakiety ciągnącej za sobą cienki drut stalowy, umocowany jednym końcem w ziemi.

Sztuczne wywoływanie piorunów i błyskawic, zdaniem niektórych specjalistów może służyć jako środek prowadzenia walki meteorologicznej w skali taktycznej. Błyskawice i pioruny mogą być wykorzystywane do rażenia ludzi, wywoływaia pożarów w składach paliw płynnych, zakłócania pracy urządzeń radiotechnicznych itp. Przy odpowiedniej ich modyfikacji pod wzgledem intensywności i częstotliwości mogą stanowić poważne zagrożenie dla lotnictwa. Trzeba jednak stwierdzić, że metody modyfikacji wyładowań elektrycznych na razie nie zostały opanowane. Poza tym ograniczona częstotliwość burz

z błyskawicami czyni wyładowania atmosferyczne bardzo wątpliwym czynnikiem rażenia.

Wywoływanie cyklonów i kierowanie nimi

Zainteresowanie wojskowych wielkimi cyklonami wynika z tego, że należą one do najbardziej niszczących zjawisk przyrody powodujących straty w ludziach i ogromne straty materialne. Zjawiska te charakteryzują się ogromną intensywnością energetyczną. Ze względu na zasięg i czas trwania cyklony można podzielić na tornada i huragany. Tornada to gwałtowne huragany o niewielkiej średnicy i czasie. Przestrzeń objęta tornadem nie przekracza zazwyczaj kilkuset metrów. Zamiera ono po przebyciu kilkunastu kilometrów. Wywołane przez nie zniszczenia ograniczają się do trasy ich przebiegu. Tornada rodzą się zaledwie w ciągu kilkunastu minut. Nie dają więc praktycznie szansy na podjęcie środków zaradczych. Moc typowego tornado ocenia się na około 100000 MW. Tornada składają się z dotykających gruntu i wody kolumn bardzo szybko krążącego powietrza. Towarzyszą im grad i silne wyładowania atmosferyczne. Jak dotychczass o tornadach wiadomo stosunkowo niewiele. Stąd też jedynie sugeruje się możliwość zastosowania pewnych metod ich modyfikacji i kierowania. Jedna z nich polega na zmianie przepływu powietrza blisko powierzchni ziemi (i wody). Inna na oddziaływaniu na procesy kondensacji przez posiewanie związków chemicznych.

Najbardziej niszczącym zjawiskiem przyrody są jednak huragany, w których głównym czynnikiem niszczącym są wiatry osiągające prędkość 150 km/h i więcej. Wiatr o tak ogromnej prędkości wywiera duże parcie na przeszkody terenowe - budynki, lasy i inne obiekty. Silne parcie na powierzchnię oceanu powoduje powstanie fali o wysokości 15 - 20 m, która rozchodząc się niszczy porty, urządzenia hydro-

techniczne oraz obiekty na wybrzeżu. Energia huraganów jest bardzo duża. Meteorolog amerykański Ridl obliczył[25], że cyklon zwrotnikowy (huragan) o przekroju 700 $km^2$ wydziela w ciągu sekundy energię równoważną pięciu wybuchom jądrowym o mocy 20 kt.

Cyklony (huragany) są to duże wiry atmosferyczne, których średnica waha się od 30 do 300 km.Powietrze wznosi się w nich wokół osi pionowej obejmując często całą troposferę. Powstają one zwykle nad powierzchnią oceanów w pobliżu równika na obydwu półkulach. Ich ruch odbywa się po paraboli ze wschodu na zachód. Cyklony w miarę przemieszczania tracą stopniowo swoją energię.

Z punktu widzenia ewentualnych modyfikacji przebiegu cyklonów oraz kierowania nimi ważne są dwa czynniki związane z ich powstawaniem. Pierwszy to przenoszenie energii cieplnej z morza do mas powietrza tworzących cyklon. Ilość tej energii musi być odpowiednio duża, aby cyklon osiągnął i utrzymywał odpowiednią intensywność. Drugi to przetworzenie energii w cyrkulację mas powietrza. Myśli się więc o oddziaływaniu na obydwa wymienione czynniki. Zastosowanie środków i metod oddziaływania na proces parowania to jeden ze sposobów zwiększania lub zmniejszania siły cyklonu. Inna droga to zastosowanie środków, które zakłócają proces powstawania cyrkulacji powietrza. Można to zrobić zmieniając ilość ciepła w tej części cyklonu,w której znajduje się jego jądro. Jak na razie są to pomysły raczej czysto teoretyczne. Wiadomo, że cyklony każdego roku niszczą ogromne powierzchnie państw rozmieszczonych w strefie tropikalnej, w tym również państw tak bogatych jak Stany Zjednoczone. W ostatnich latach trwają badania nad powstawaniem i przemieszczaniem się cyklonów. Rezultaty tych badań nic są jednak na tyle zaawansowane, aby można było myśleć o skutecznym oddziaływaniu na te procesy.

---

25. Zob. Mroczyński R. str. 33.

Wykorzytanie opisywanych zjawisk do celów niszczenia wybrzeży państw wrogich, jak na razie pozostaje więc w sferze rozważań teoretycznych. Nie można jednak wykluczyć, że w przyszłości procesy powstawania i przemieszczania się cyklonów zostaną poznane, znalezione zostaną środki i metody oddziaływania na nie i powstaną warunki do ich wojskowego wykorzystania

## 4.2. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia broni hydrosferycznej

Broń hydrosferyczna to środki i metody ich użycia ukierunkowane na oddziaływanie na powłokę wodną przenikającą skorupę ziemską i atmosferę, obejmującą wody podziemne, morza i oceany, rzeki, jeziora i bagna, lodowce, parę wodną w atmosferze i skorupie ziemskiej, parę skropioną lub zestaloną, unoszącą się w postaci mgieł i chmur i opadającą na ziemię w postaci deszczu, śniegu, gradu i innych osadów, wywołujące w ostatecznym wyniku takie zmiany w hydrosferze, które oddziaływują negatywnie na wojska przeciwnika i jego zaplecze. W literaturze rozważane są możliwości wykorzystania środków rażenia i metod ich użycia, które mogą:

- zmieniać właściwości fizykochemiczne mórz i oceanów;
- skażać wody mórz i oceanów środkami promieniotwórczymi;
- wytwarzać w wodach mórz i oceanów pole elektromagnetyczne i akustyczne;
- zakłócać wymianę cieplną i gazową między hydrosferą i atmosferą;
- wywoływać wielkie fale oceaniczne zwane tsunami;
- wymuszać proces topienia się lodów polarnych;
- powodować zmianę kierunków przepływu prądów morskich;
- wywoływać zatopienia terenu;

- wywoływać zachmurzenia i powodować rozpraszanie chmur;
- wywoływać mgłę i powodować jej rozpraszanie.

Zmiany właściwości fizykochemicznych wód mórz i oceanów

Zmiana właściwości fizycznych (gęstości, temperatury, przewodnictwa cieplnego, stopnia zasolenia) oraz składu chemicznego mórz i oceanów spowodowałaby nieobliczalne skutki ekologiczno - klimatyczne. Mogłaby też wpływać na działanie systemów akustycznych i radarowych wykorzystywanych w siłach morskich. Skutki dotyczyłyby zarówno strony przeciwnika jak i własnej.

Woda morska zawiera różne związki chemiczne, przewagę jednak mają w niej chlorowce, a głównie chlorek sodu, czyli sól kuchenna. Przeciętnie w składzie otwartych wód oceanów składniki mineralne stanowią około 3,5 %. W zamkniętych zatokach i w strefach silnego parowania wód następuje zagęszczenie roztworów soli morskich, a nawet ich strącanie. Oprócz chlorku sodu w wodzie morskiej znajduje się chlorek magnezowy oraz w mniejszej ilości siarczany magnezu, wapnia i potasu. Teoretycznie stan zasolenia wód mórz i oceanów można zmienić przez roztopienie olbrzymich mas lodów zgrupowanych w strefach podbiegunowych. Takie działanie, obok zmian klimatycznych, spowodowałoby zmiany zasolenia wód mórz i oceanów a w następstwie zmiany w życiu biologicznym fauny i flory. Poza tym zmiana zasolenia wód morskich pociągnęłaby za sobą zmiany ich właściwości fizycznych, takich jak gęstość, przewodnictwo i właściwości rozchodzenia się fal akustycznych, elektromagnetycznych i radarowych.

Właściwości fizykochemiczne wód mórz i oceanów mogą być również zmieniane przez obniżenie ich średniej temperatury. Jak wiadomo, woda wolniej ogrzewa się niż lądy i powietrze, ale za to dłużej

utrzymuje ciepło. Totez woda ma najwyższą temperaturę wtedy, gdy mija okres najcieplejszej pory roku. Ogólny rozkład temperatury wód w warstwach powierzchniowych przebiega podobnie do rozkładów temperatur powietrza. W pobliżu biegunów średnia temperatura roczna wód powierzchniowych spada poniżej 0°C. Na małych szerokościach geograficznych dochodzi do 28°C, a w morzach śródlądowych lub w zatokach przybrzeżnych przekracza 30°C. Średnia temperatura wód powierzchniowych oceanów wynosi 17,3°C. Z teoretycznego punktu widzenia temperatury wód mórz i oceanów można zmieniać wykorzystując takie zjawisko jak pochłanianie określonej ilości energii promienistej (określonego pasma promieniowania) w górnych warstwach atmosfery przez odpowiednie absorbenty w zawiesinie lub aerozolu, względnie uwolnienie wyższych warstw atmosfery od substancji pochłaniających promieniowanie (ozon, dwutlenek węgla, para wodna, aerozole). Spowoduje to zmianę średniej temperatury wód mórz i oceanów w skali całego globu, co w konsekwencji mogłoby doprowadzić do przerwania niektórych ogniw decydujących o ciągłości życia biologicznego.

Właściwości fizyczne, chemiczne i elektryczne mórz i oceanów można również zmieniać poprzez zmiany kierunku przepływu stałych i okresowych prądów morskich (zapory, zmiana topografii dna morskiego), co w konsekwencji spowoduje zmianę warunków termicznych. Inna metoda sprowadza się do zmian w nich procentowych zawartości pierwiastków biogenicznych takich jak azot, fosfor, krzem, mangan. Zmiana zawartości tych pierwiastków w wodach mórz i oceanów pociągnęłaby za sobą zakłócenia w organizmach składających się na populację biologiczną mórz i oceanów, a nawet przerwanie określonych ogniw łańcucha pokarmowego i życia biologicznego. Szczególne nie-

bezpieczne byłoby zniszczenie szelfu kontynentalnego, co doprowadziłoby do zmian w strukturze ekologicznej wód przybrzeżnych.

Wszystkie wymienione wyżej działania, na obecnym etapie rozwoju techniki i nauki są, na szczęście, nie do zrealizowania.

Skażenie wód mórz i oceanów środkami promieniotwórczymi

Dla skażenia wód mórz potrzeba znacznej ilości środków promieniotwórczych i to w takiej formie, w której byłyby asymilowane przez florę i faunę morską. Dostarczenie i rozpuszczenie dużej ilości środków promieniotwórczych jest przedsięwzięciem technicznie trudnym, energo- i pracochłonnym, a skutki jednakowo groźne dla wszystkich. Niezbędnych środków może dostarczyć energetyka jądrowa.
Jest jednak rzeczą oczywistą, że skażenie promieniotwórcze byłoby długotrwałe i bardzo niebezpieczne zarówno dla strony przeciwko której zostało wykonane jak i dla strony wykonującej.

Wytwarzanie w wodach mórz i oceanów pól elektromagnetycznych i akustycznych

Wytwarzanie w wodach mórz i oceanów silnych pól elektromagnetycznych i akustycznych, a szczególnie niskiej częstotliwości zagrażałoby życiu biologicznemu na bardzo dużych obszarach. Tego rodzaju pola są obecnie wytwarzane przez systemy wykrywania i łączności marynarki wojennej (szczególnie dla łączności z okrętami podwodnymi oraz do ich wykrywania). Istnieją systemy wykrywania, naprowadzania i zwalczania atomowych okrętów podwodnych, zarówno w skali taktyczno - operacyjnej jak i strategicznej. Jednakże zbudowanie systemu do wytwarzania ciągłego sztucznego pola elektromagnetycznego i akustycznego, przeznaczonego wyłącznie do oddziaływania na organizmy żywe znajdujące się w morzach i oceanach związane jest z wie-

loma trudnościami technicznymi, a w szczególności z budową odpowiednich środków energetycznych niezbędnych do działania opisanego wyżej systemu.

### Zakłócenie wymiany cieplnej i gazowej pomiędzy hydrosferą i atmosferą

Przy użyciu środków, którymi obecnie dysponujemy możliwe jest pokrycie wód morskich na znacznej powierzchni cienką warstwą substancji uniemożliwiającą lub utrudniającą naturalną wymianę ciepła pomiędzy hydrosferą a atmosferą, a także proces ciągłego doprowadzania tlenu z atmosfery do hydrosfery. Zahamowanie lub naruszenie tego procesu spowodowałoby wyniszczenie życia biologicznego w wodach objętych takim działaniem, a ponadto miałoby wpływ na warunki klimatyczne przez zmianę temperatury powietrza lub stopnia jego nawilgocenia. Efekty takie mogą być wywołane między innymi przez rozlanie ropy naftowej na znacznych obszarach mórz i oceanów.

Zastosowanie takich sposobów naruszania wymiany cieplnej i gazowej między hydrosferą i atmosferą w celu oddziaływania na przeciwnika jest raczej dyskusyjne. Obecnie te metody proponuje się wykorzystać do sterowania przebiegami huraganów i cyklonów.

Inną metodą naruszania równowagi cieplnej i gazowej pomiędzy atmosferą a hydrosferą jest wprowadzenie w atmosferę, szczególnie w jej górne warstwy substancji pochłaniających promieniowanie o określonej długości fali, co w konsekwencji może doprowadzić do zmiany rozkładu temperatury wód mórz i oceanów.

Technicznie możliwe jest wprowadzenie do atmosfery i środowiska wodnego substancji trujących w postaci proszków i zawiesin. Znane są takie środki, które wprowadzone do atmosfery powodują zmianę proporcji pierwiastków biogennych. Zastosowanie tych środ-

ków może spowodować klęskę nieurodzaju na znacznych obszarach. Efekt ich działania na faunę i florę morską jest dziesięciokrotnie większy niż na lądzie.

Możliwe jest również wprowadzenie do atmosfery środków regulujących procentową zawartość różnych gazów (tlenu, wodoru, tlenku azotu, dwutlenku węgla). Zmiany procentowe ich zawartości w atmosferze, a szczególnie w jej górnych warstwach, w istotny sposób naruszają system wymiany cieplnej i gazowej między atmosferą a hydrosferą.

Tego rodaju przedsięwzięcia mogą być stosowane tylko i wyłącznie w skali strategicznej (przeciwko określonym kontynentom).

Wywoływanie wielkich fal oceanicznych zwanych tsunami

Wielkie fale oceaniczne, zwane w Japonii, którą stosunkowo często nawiedzają, tsunami, powstają w rezultacie silnych podwodnych wstrząsów sejsmicznych, w sytuacji gdy wstrząsy wywołują duże zmiany morfologii dna morskiego.

Nagłe podniesienie znacznej partii dna morskiego wzdłuż uskoku powoduje podniesienie się wielokilometrowego słupa wody powyżej jej zwykłego poziomu. Efekt fali występuje również i przy obniżeniu dna morskiego. Przemieszczający się w górę lub w dół słup wody powoduje powstanie fal powierzchniowych, które rozchodzą się po całym oceanic na podobieństwo kręgów tworzących się od rzutu do wody kamienia. Fala taka zwana tsunami transportuje miliardy ton wody. Kolosalna energia gna ją na odległości 10 - 15 tys. kilometrów.

Tsunami rozchodzą się po dużej powierzchni oceanu z ogromną prędkością dochodzącą niekiedy nawet do 800 km/h. Wysokość fal szturmujących brzeg osiąga często 20 i więcej metrów. Silne tsunami powodują ogromne zniszczenia i wiele ofiar w ludziach. Są one szcze-

gólnie niebezpieczne dla osiedli i miast rozmieszczonych na nisko położonych wybrzeżach oceanów.

W ciągu ostatnich dwu i pół tysiąca lat odnotowano 365 takich kataklizmów, które nawiedzały wybrzeża wielu mórz i oceanów na kuli ziemskiej[26]. Spośród nich 137 szczególnie dotknęło Japonię i Hawaje. Również na Kamczatce i Wyspach Kurylskich odnotowano, począwszy od 1937 roku, 16 tsunami, z czego 4 bardzo silne.

Teoretycznie rzecz biorąc wywołanie takich fal jest możliwe, poprzez wywołanie trzęsień dna morskiego. Trzęsienia dna morskiego podobne są w swej istocie do trzęsień na lądzie. Znajomość napięcia w skorupie dna morskiego lub oceanicznego , oczywiście w rejonie tektonicznie aktywnym, może być wykorzystana do sztucznego wywołania takiego trzęsienia przy pomocy podwodnego wybuchu jądrowego.

Zdaniem specjalistów, wywołanie wielkiej fali oceanicznej byłoby też możliwe przez zdetonowanie min jądrowych w sztolniach wykopanych u podstawy lodowca na Antarktydzie lub w Arktyce. Powstała w rezultacie wybuchu energia cieplna spowodowałaby stopienie lodu w strefie wybuchu i powstanie poduszki wodnej między warstwą lodu a podłożem skalnym, wskutek czego znaczna część powłoki lodowej spłynęłaby gwałtownie do oceanu, powodując powstanie olbrzymiej fali, zdolnej do zniszczenia nabrzeżnych miast i portów całych rejonów.

Wysoka samotna fala może również powstać w wyniku oderwania się i opadnięcia w głąb skorupy ziemskiej, w okolicach szelfu kontynentalnego olbrzymich bloków skalnych (o długości 10 km i szerokosci 100 m). Przesunięcie tak dużej masy skalnej do głębin oceanu nie jest proste. Może być zrealizowane jedynie w sytuacji, gdy do tego

---

26. Zob. Herlinger J. Człowiek w walce z żywiołem. KAW, Warszawa 1778, str. 90.

celu zostaną wykorzystane napięcia istniejące w określonym, sejsmicznie aktywnym rejonie. W takiej sytuacji do wywołania tsunami potrzeba stosunkowo niedużej energii. O realności tego rodzaju rozważań świadczą wyniki doświadczeń z bronią jądrową w postaci wykonanych podwodnych wybuchów jądrowych.

Wysokie fale oceaniczne, niszczące okręty, porty i rejony nadmorskie, mogą również powstawać podczas nawodnych i podwodnych wybuchów jądrowych dużej mocy.

We wszystkich przypadkach przy podejściu fal tsunami do wybrzeża zmienia się kierunek ich rozprzestrzeniania. Na płyciznach, gdzie głębokość morza nieznacznie przewyższa wysokość fali, następuje gwałtowne jej spiętrzenie przy jednoczesnym zmniejszeniu długości. Na pewnej krytycznej głębokości morza (w pobliżu lub w miejscach nagłej zmiany głębokości morza) fale ulegają rozbiciu i przechodzą w tak zwaną falę przybojową. Fale powierzchniowe, wyzwolone przez podwodne lub nawodne wybuchy jądrowe mogą powodować zniszczenia lub uszkodzenia okrętów znajdujących się na morzu oraz w bazach i portach, a także samych portów i rejonów nadmorskich.

Możliwości wykorzystania tsunami do celów walki są całkiem realne, pod warunkiem jednak, że do tych celów zostaną wykorzystane rezultaty nawodnych i podwodnych wybuchów jądrowych.

Wymuszenie procesu topienia się lodów polarnych

Do celów walki lody polarne można wykorzystać w dwojaki sposób. Pierwszy sprowadza się do roztopienia lodów, drugi do spowodowania przesuwania się lodów i w rezultacie ich stopienia.

Topienie się lodów można przyspieszyć przez zmianę albedo - stosunku ilości promieniowania widzialnego odbitego od powierzchni ziemi do padającego na nią (dla ziemi albedo równa się 0,34). Można

to osiągnąć pooprzez pokrycie powierzchni lodów polarnych cienką warstwą pyłu o ciemnym zabarwieniu, co zmieni albedo i przyspieszy topnienie lodów. Gdyby, wykorzystując zmianę albedo, stopić wszystkie lody na powierzchni Ziemi, to poziom mórz i oceanów podniósłby się o 35 m, a więc znaczne obszary lądów znalazłyby się pod wodą. Wodą stopionego lodu samej Grenlandii można by wypełnić aż 85 zbiorników wielkości Bałtyku. Skutki tego rodzaju przedsięwzięcia są trudne do przewidzenia - zmiana rozkładu stref klimatycznych, właściwości fizycznych i chemicznych mórz i oceanów, zatopienie wielkich obszarów lądu. W praktyce sposób ten jest nie do zrealizowania z powodu ogromnej ilości pyłu, który należałoby rozprowadzić na powierzchni rzędu 1000000 km$^2$.

Przesuwanie (pełzanie) lodowców można spowodować, zdaniem niektórych specjalistów, poprzez wprowadzenie energii cieplnej pod skorupę lodowcową. Źródłem niezbędnej ilości energii cieplnej byłyby urządzenia jądrowe. Proces pełzania lodowców zachodzi w naturze, przy czym zjawisko przebiega następująco: w wyniku opadów atmosferycznych zwiększa się grubość lodu, a w konsekwencji ciśnienie w głębi. W pewnym momencie ciśnienie osiąga tak dużą wartość, że warstwa lodu zaczyna się topić mimo, iż temperatura jest ujemna. Masa lodu będąca wówczas w stanie niestałości grawimetrycznej zaczyna przesuwać się na zewnątrz. Tarcie, które powstaje w wyniku przesuwania się lodów, powoduje wydzielenie się ciepła, które z kolei przyspiesza jeszcze ten proces.

Na podstawie obserwacji poczynionych na lodowcach w Alpach oraz na Spitzbergenie i Grenlandii stwierdzono, że szybkość ruchu lodowców jest różna. W Alpach wynosi od kilkunastu do około 40 cm na dobę, a na Grenlandii od 10 do 30 m na dobę. Dostarczenie dodatkowych ilości ciepła może procesy pełzania lodów przyspieszyć. Szyb-

sze topienie się lodów oznacza podniesienie poziomu wód mórz i oceanów oraz zalanie niżej położonych powierzchni lądów. Trzeba również uwzględnić, że w wyniku opisanych procesów powstaną gigantyczne fale zwane tsunami.

Operacje tego typu mogłyby przeprowadzić kraje równikowe, nie mające dostępu do morza. W pozostałych rejonach świata zapanowałaby era lodowcowa, z tym, że rejony zwrotnikowe miałyby prawdopodobnie klimat umiarkowany z obfitymi opadami deszczu.

Zastosowanie militarne tej metody jest mało pradopodobne ze względu na skalę trudności technicznych i globalny charakter skutków.

Zmiana kierunków przepływu prądów morskich

Bezpośrednią przyczyną prądów morskich są wiatry wiejące w strefie podzwrotnikowej zwane pasatami. Pod wpływem pasatów tworzą się prądy równikowe, płynące w kierunku zachodnim. Po dojściu do przeciwległych wybrzeży ulegają rozgałęzieniu na dwie odnogi. Na przykład Prąd Południoworównikowy na Atlantyku rozgałęzia się na Prąd Brazylijski, płynący ku południowi oraz Prąd Północnorównikowy, dalej Prąd Zatokowy płynący ku północy. Na oceanie Indyjskim powstają prąd Madagaskarski płynący w kierunku południowym i Prąd Równikowy Wsteczny płynący w kierunku północnym. Odpowiednio na Oceanie Spokojnym mamy do czynienia z Prądem Wschodnioaustralijskim i Równikowym Wstecznym. Na kierunki prądów wpływa w sposób istotny rozczłonkowanie lądów.

Na większych szerokościach geograficznych powstawanie prądów morskich wiąże się z różnicami temperatury, gęstości i zasolenia wód. Podczas przepływu wód następuje wymiana między wodami ciepłymi słonymi, a zimnymi słabo zasolonymi. Dla kontynentu europejskiego szczególne znaczenie ma Prąd Zatokowy, zwany Golfstro-

mem. Jest to ciepły prąd morski, który wypływa z Cieśniny Florydzkiej. Początkowo płynie wzdłuż wybrzeży Ameryki Północnej, po czym na 40° szerokości północnej jako Prąd Północnoatlantycki skręca na wschód i przepływa ocean. U wybrzeży Europy oddziela się od niego Prąd Kanaryjski. Główne ramię Golfstromu dociera do wybrzeży norweskich i Morza Barentsa. Prędkość tego prądu wynosi początkowo 6 - 10 km/h, później, od Przylądka Hatteras 3 - 4 km/h. Prąd ma szerokość 75 - 120 km, a temperatura jego wód powierzchniowych 25-26°C. Prąd łagodzi klimat północno - zachodniej Europy i Grenlandii.

Zmiana kierunku przepływu tego prądu jest teoretycznie możliwa. Można jej dokonać dwoma sposobami. Pierwszy to przegrodzenie Cieśniny Beringa, drugi - zmiana parametrów mórz i oceanów (np. przez roztopienie lodów). Na razie skala trudności technicznych oraz trudne do przewidzenia skutki tego rodzaju przedsięwzięcia wykluczają możliwość wykorzystania go do celów militarnych.

Wywoływanie zatopień terenu

Zatapianie jest znanym sposobem oddziaływania nie tylko na zaplecze, ale również na rejony działań bojowych. W rejonach położonych niżej od lustra wody może ono być zastosowane podczas operacji obronnych i zaczepnych zarówno w skali taktyczno - operacyjnej jak i strategicznej. W operacjach zaczepnych zatapianie niżej położonych obszarów może być stosowane w celu utworzenia szerokich sztucznych przeszkód wodnych dla zabezpieczenia skrzydeł nacierających wojsk lub też ograniczenia przeciwnikowi możliwości manewru odwodami. Sztuczne nawodnienie rejonów, w których znajdują się tyły przeciwnika oraz przez które przechodzą linie zaopatrzenia i ewakuacji, może utrudnić, a nawet uniemożliwić ich działanie. W operacjach obronnych

zatopienie niżej położonych obszarów może znaleźć zastosowanie w celu utrudnienia przeciwnikowi działań manewrowych.

Zatopienie powoduje gwałtowną zmianę warunków naturalnych (szczególnie terenowych) na dużych obszarach, zniszczenie urządzeń hydrotechnicznych i energetycznych, linii komunikacyjnych, linii łączności, miast, osiedli i wiosek, a także rejonów rolniczych.

Do zatapiania nadają się zwłaszcza obszary depresyjne zabezpieczone różnego rodzaju tamami oraz tereny znajdujące się poniżej lustra wody, czy też na równi z nim. a także położone w pobliżu sztucznych zbiorników wodnych.

Do niszczenia tam, jazów, śluz, wałów przeciwpowodziowych i innych urządzeń hydrotechnicznych i hydroenergetycznych można wykorzystać wszystkie znane obecnie środki wybuchowe i środki rażenia.

## Wywoływanie zachmurzenia i powodowanie rozpraszania się chmur

Sztuczne zachmurzenie nad określonym rejonem można wywołać następującymi metodami:

- chemicznymi - przez wprowadzenie do atmosfery jąder kondensacji, którymi są silnie higroskopijne związki chemiczne, takie jak jodek srebrowy, jodek ołowiowy lub inne podobne substancje;
- dynamicznymi, które polegają na sztucznym wywoływaniu powietrznych prądów wstępujących lub zstępujących (wykorzystanie cieplnych pionowych prądów wstępujących ze źródła ciepła na powierzchni ziemi, np. zestawu silników lotniczych). Może to doprowadzić do powstania warunków sprzyjających naturalnemu powstawaniu i rozwojowi chmur kłębiastych;

- przez wykorzystanie adiabatycznego procesu chłodzenia powietrza. W procesie tym przyczyną kondensacji pary wodnej, a tym samym powstawania chmur, jest nagłe ochłodzenie powietrza w czasie jego ruchu wstępującego. Dwa pierwsze sposoby są bardziej perspektywiczne od trzeciego.

Zachmurzenie nad określonym rejonem można rozpraszać metodą chemiczną - przez wprowadzenie do chmury jąder kondensacji i spowodowanie tym samym opadu przed chronionym rejonem oraz metodą fizyczną - przez wprowadzenie do chmury zestalonego aerozolu, np. rozpylonego cementu. Efektywne rozpraszanie chmur tą metodą, według danych literaturowych, wynosi 80 %. Zasięg działanie tej metody jest z oczywistych względów lokalny.

Sztuczne wywołanie zachmurzenia, w szczególności niskiego (chmury kłębiasto-warstwowe, warstwowo-niskie, deszczowo-warstwowe) nad polem walki lub innymi rejonami może zwiększyć efektywność obrony przed środkami rażenia, których kierowanie i naprowadzanie odbywa się za pomocą środków i sposobów wizualnych. W toku walki sztuczne wywołanie zachmurzenia sprzyjać będzie skrytym przygotowaniom do działań. Zjawisko to można wykorzystać także do ochrony wojsk przed rażącymi czynnikami wybuchów jądrowych, a w szczególności przed promieniowaniem cieplnym. Sztucznie wywołane zachmurzenie w rejonie baz i portów morskich może utrudniać manewry okrętów, a w rejonie bazowania lotnictwa - jego użycie. Sztuczne wywoływanie zachmurzenia i jego rozpraszanie może być stosowane w skali taktyczno - operacyjnej

Sztuczne wywoływanie i rozpraszanie mgły

Mgła będąca zawiesiną bardzo małych kropelek wody w powietrzu bezpośrednio przylegającym do powierzchni ziemi, zmniejsza widoczność poziomą.

Ze względu na naturalne przyczyny powstawania, mgły w meteorologii dzieli się na radiacyjne, adwekcyjne, frontowe, stokowe oraz opary mgielne.

Mgła radiacyjna (z wyparowania) powstaje w wyniku oziębienia się powietrza w zetknięciu z powierzchnią ziemi wypromieniowującej ciepło w nocy. Powstaniu mgły radiacyjnej towarzyszy małe zachmurzenie i słaby wiatr.

Mgła adwekcyjna (napływowa) tworzy się wskutek ochłodzenia się ciepłego i wilgotnego powietrza napływającego nad wychłodzone podłoże. Występowanie tego typu mgły jest charakterystyczne dla okresu odwilży. Powstawać może o każdej porze doby.

Mgła frontowa powstaje o każdej porze doby w strefach frontów ciepłych i ciepłych okluzji przy zetknięciu się z zimnym powietrzem.

Mgła stokowa powstaje wskutek adiabatycnego ochładzania się powictrza wślizgującego się po stokach.

Opary mgielne tworzą się, gdy chłodne powietrze przemieszcza się nad ciepłą wodą. Wskutek intensywnego parowania - chłodne powietrze szybko zostaje nasycone parą wodną, której nadmiar kondensuje się w postaci mgły.

Mgły mogą występować w dwóch formach, a mianowicie: jako mgła ciepła, w której kropelki wody mają temperaturę dodatnią oraz mgła zimna, w której kropelki wody znajdują się w stanie przechłodzenia, a ich temperatura jest ujemna.

Sztuczne mgły można wywołać za pomocą jednej z następujących technik:

- rozsiewanie jąder kondensacji (odpowiednich aerozoli lub związków chemicznych) za pomocą różnego rodzaju generatorów;
- ogrzewanie warstwy powietrza bezpośrednio przyległej do powierzchni ziemi przy pomocy źródeł ciepła o dużej wydajności, np. specjalnie przystosowane silniki lotnicze;
- podgrzewanie i wysuszanie powietrza w celu zmniejszenia jego nawilgocenia.

Do najbardziej perspektywicznych sposobów otrzymywania sztucznej mgły można zaliczyć dwa pierwsze z wymienionych sposobów.

Rozproszenie mgły nad określonym rejonem jest przedsięwzięciem technicznie trudnym i skomplikowanym, a metody rozproszenia uzależnione są od formy, w jakiej mgła występuje w danym rejonie.

Mgłę tzw. "ciepłą" rozprasza się przez wprowadzenie do obłoku cząstek silnie higroskopijnych, tzw. jąder kondensacji. Mgłę "zimną" można rozpraszać za pomocą "suchego lodu", jodku srebrowego lub ciekłego propanu, którym nasyca się obłok mgły za pomocą specjalnych urządzeń.

Obok wyżej wymienionych metod rozpraszania mgły znane są jeszcze inne metody, takie jak:

- użycie techniki laserowej;
- wtryskiwanie jonów lub naładowanych cząsteczek wody do mgły.

Z uwagi na bardzo wysokie koszty aparatury niezbędnej do rozpraszania mgły wyżej wymienionymi metodami oraz wobec niewielkiej ich efektywności nie mogą one znaleźć praktycznego zastosowania.

Problem rozpraszania mgły znajduje zastosowanie w wielkich portach lotniczych. Okazało się, że najbardziej skuteczną metodą, chociaż bardzo drogą, jest metoda termiczna. Na lotniskach Orly i Roissy w Paryżu zainstalowano potężne dmuchawy z gorącym powietrzem. Ta

stacjonarna kosztowna aparatura nie nadaje się jednak do wykorzystania tam, gdzie wymagana jest duża ruchliwość. Inne metody dawały mniejsze efekty. Prostą i stosunkowo tanią metodą jest mieszanie nawilgoconego powietrza z mgłą za pomocą lecącego smigłowca. Rejon rozproszenia jest w tym przypadku stosunkowo niewielki.

## 4.3. Degradacja i dewastacja środowiska jako skutek użycia broni litosferycznej

Broń litosferyczna to środki rażenia i metody ich użycia ukierunkowane na najbardziej sztywną warstwę kuli ziemskiej, sięgająca do głębokosci 80 - 150 km, obejmującą skorupę ziemską i górną część płaszcza Ziemi, wywołujące w ostatecznym wyniku zmiany w litosferze, które oddziaływują negatywnie na wojska przeciwnika i jego zaplecze.

W literaturze rozważane są możliwości wykorzystania takich środków rażenia i metod ich użycia, które mogą:

- wzbudzać fale sejsmiczne i trzęsienia ziemi;
- stymulować wybuchy wygasłych wulkanów;
- wywoływać lawiny i zawały;
- umożliwiać wypalanie roślinności i niszczenie gleby.

### Wzbudzanie fal sejsmicznych i trzęsień ziemi

Trzęsienia ziemi wstrząsały naszą planetą od niepamiętnych czasów, tak jak i dziś, choć uczeni są zdania, że w zamierzchłych epokach były znacznie gwałtowniejsze. Obecnie ocenia się, że wielkie trzęsienia ziemi na lądzie zdarzają się przeciętnie co 52 dni, a na dnie oceanów co 28 dni. Stacje sejsmiczne na całym świecie notują jednak rocznie ponad 100000 wstrząsów. Na szczęście nieliczne tylko wstrząsy mają

przebieg katastrofalny. Większość jest tak słaba, że rejestrują je tylko najczulsze aparaty pomiarowe.

Wstrząsy skorupy ziemskiej są wynikiem procesów zachodzących wewnątrz ziemi na różnych głębokościach. Ich mechanizmy nie są obecnie dobrze poznane, aczkolwiek w ostatnich latach w oparciu o teorię tektoniczno - płytową wyjaśniono wiele zjawisk związanych z ich powstawaniem. Zgodnie z tą teorią skorupa ziemska dzieli się na szereg wielkich płyt odpowiadającym z grubsza kontynentom, które powoli przesuwają się wzajemnie względem siebie. Ruchy te wywołują ogromne napięcia w materiale skorupy ziemskiej. Napięcia, o których mowa wyżej, koncentrują się w określonych miejscach, takich jak: Ocean Spokojny i rejony do niego przyległe - najbardziej aktywna jest tzw Strefa Okołopacyficzna obejmująca obszary od Ziemi Ognistej, wzdłuż całego zachodniego wybrzeża Ameryki, poprzez Aleuty i Kurylе oraz Japonię z odgałęzieniami w okolicach Indonezji i Filipin. Druga strefa to tzw Strefa Śródziemnomorska. Ciągnie się przez Malakkę, Himalaje, południową część Azji Środkowej, Iran i rejon Morza Śródziemnego do Atlantyku.

Znajomość rejonów i pasów w których występują napięcia w skorupie ziemskiej pozwala przewidywać ewentualne jej ruchy, a tym samym i trzęsienia ziemi. Trzęsienie ziemi może być wywołane przez gwałtowne (nagłe) rozładowania napięć powoli gromadzących się w skorupie ziemskiej. Znając kierunek i stan napięć można, teoretycznie rzecz biorąc, poprzez ich nagłe rozładowanie wywołać trzęsienie ziemi. W zespole deformacji tektonicznej (uskoków) , podobnych na przykład, do tworzących pas sejsmiczny Pacyfiku, Morza Śródziemnego, Azji, Indonezji, można wywołać trzęsienie ziemi przez rozładowanie napięć drogą dodania względnie słabej energii do energii nagromadzonej w jednym z wymienionych uskoków. Energia taka by-

łaby pośrednim detonatorem, wywołującym rozładowanie napięć w danym rejonie.

Sztuczne stymulowanie rozładowania napięć skorupy ziemskiej - przyczyn trzęsienia ziemi - można uzyskać dwoma sposobami. Pierwszy to wybuchy o takiej sile, która spowoduje wstrząsy warstw i wywoła wyzwolenie energii napięć powodujących ruchy skorupy ziemskiej w określonych rejonach. Na przykład, dokładna znajomość napięć w pasie sejsmicznym Pacyfiku mogłaby ewentualnie umożliwić wywołanie wstrząsu podziemnego w deformacji tektonicznej w pobliżu Los Angeles i San Francisco za pomocą wybuchu na Morzu Chińskim i Filipińskim. Drugą metodą wyzwalania energii napięć jest wypompowywanie wody z naturalnych podziemnych zbiorników lub wpompowywanie jej pod ziemię w rejonach sejsmicznych. Przy wpompowywaniu wody następuje tak zwane "naoliwienie" płyt i bloków skalnych, co ułatwia ich przesuwanie się. Podczas wpompowywania wody pod ziemię w pobliżu Denver w amerykaśkim stanie Colorado zanotowano całą serię małych wstrząsów.

Teoretycznie możliwe jest sztuczne wywoływanie trzęsień ziemi za pomocą detonacji zarówno jądrowych jak i klasycznych ładunków wybuchowych. Technika pompowania wody w celu wywołania trzęsienia ziemi jest mało efektywna i dałaby się łatwo wykryć. Z drugiej strony, jeżeli stan napięć w jakimś rejonie skorupy ziemskiej jest znaczny, to technologicznie łatwiejsze jest wykorzystanie energii wybuchów (jądrowych, konwencjonalnych) do sztucznego wywołania trzęsienia ziemi.

Współczesna teoria tektoniki płytowej sugeruje, że większość trzęsień ziemi ma miejsce na granicy płyt lub w ich pobliżu. Ogranicza to możliwość wykorzystania trzęsień ziemi w celu rażenia przeciwnika do tych obszarów, gdzie występują sprzyjające warunki do ich wywo-

łania. Trudno też z góry przewidzieć jakie będą granice trzęsienia ziemi i jego skutki.

Stymulacja wybuchów wygasłych wulkanów

W całym świecie znanych jest ponad 600 czynnych wulkanów. Do nich trzeba doliczyć wiele takich, które obecnie uważa się za wygasłe, lub co najmniej za nieczynne. Wulkanolodzy uważają, że takich wulkanów jest około 2000. W wielu miejscach na powierzchni ziemi występują ślady ich działalności. Są to wyraźne stożki, które z biegiem czasu ulegają zniszczeniu pod wpływem działania wody i warunków atmosferycznych. W Europie do najbardziej znanych należą wulkany Owernii we Francji oraz Gór Eifel w Niemczech nad Renem. Także w Polsce znaleźć można ślady dawnych wulkanów, przede wszystkim w Sudetach i na ich przedgórzu.

W dawniejszych okresach geologicznych działalność wulkaniczna była bardziej ożywiona. Z czasem jednak słabła i ustawała. Zdarza się jednak, że wulkany uważane za wygasłe wznawiają nagle swą działalność, tak jak to się stało z Wezuwiuszem w 79 roku n.e, a także z niektórymi wulkanami w Ameryce Południowej i w wielu innych rejonach globu ziemskiego. Zahamowanie działalności wulkanu może czasem trwać bardzo długo, przy czym występują w tym czasie charakterystyczne zjawiska wulkaniczne. Z krateru, a także z lawy, która w głębi wulkanu może posiadać bardzo wysoką temperaturę, wydobywa się para wodna i inne gazy. Objawem dawno minionej działalności wulkanicznej są gorące źródła.

Wulkany po okresie "uśpienia" mogą wybuchać powodując bardzo wiele ofiar. Największy z odnotowanych wybuchów wulkanów miał miejsce na Krakatau w 1883 roku. Pochłonął on około 36000 ofiar. Krakatau to niewielka wyspa wulkaniczna, leżąca w Cieśninie

Sundajskiej między Sumatrą a Jawą. W wyniku gwałtownej erupcji wulkanicznej została dosłownie wysadzona w powietrze. Słup wulkanicznego pyłu osiągnął wysokość ponad 30 km. Fala wybuchu pędziła z prędkością dźwięku i obiegła kulę ziemską trzykrotnie. Fale morskie, tzw tsunami, osiągnęły 35 m wysokości i odbyły podróż dookoła świata z prędkością 550 km/h. Na samej wyspie, a raczej na tym co z niej pozostało, zniszczyły wszystko doszczętnie. Na uwagę zasługuje fakt, że wulkan przed katastrofalnym wybuchem milczał przez ponad 200 lat.

Wzbudzenie wygasłych wulkanów, zdaniem specjalistów, jest możliwe. Wymaga to jednak wykonania wielu zabiegów technologicznych (głębokie wiercenia, sztolnie dla ułożenia ładunków materiałów wybuchowych itp). Pracochłonność tego rodzaju przedsięwzięć, skala trudności technicznych oraz konieczność wykonywania tych prac na terytorium przeciwnika, na razie wyklucza wykorzystanie stymulacji wybuchów wulkanów do rażenia ludności i wojsk przeciwnika.

Wywoływanie lawin i zawałów

Wywoływanie lawin i zawałów jest możliwe w terenie górzystym. Sztuczne wywoływanie lawin jest przy tym uwarunkowane występowaniem w danym rejonie niestabilnych skupisk śniegu, a tworzenie zawałów - odpowiednim nawilgoceniem gruntu lub formą ukształtowania terenu czy skał.

Sztuczne wywoływanie lawin i zawałów może znaleźć zastosowanie w celu blokady przejść w górach, urządzenia zasadzek, zasypania i przykrycia koryta górskich rzek dla spowodowania zatopień i powodzi.

Przedsięwzięcia tego typu mogą być realizowane w skali taktyczno - operacyjnej.

Sztuczne wywoływanie lawin i zawałów na skalę masową doprowadza do zmian w środowisku naturalnym danego rejonu (wyniszczenie drzewostanu, zwierzyny, erozja i wysuszenie gruntu), co w konsekwencji może spowodować nieprzydatność rejonów górskich i podgórskich do upraw i wypasu.

Wypalanie roślinności i niszczenie gleby

Wypalanie roślinności może mieć miejsce w sprzyjających warunkach terenowych i atmosferycznych. Użycie środków zapalających może wywołać pożary lasów, suchych zbóż oraz budynków. Wskutek wysokiej temperatury wytworzonej podczas pożaru przestrzennego mogą ulec zniszczeniu wszelkie formy życia. Olbrzymie obszary mogą zamienić się w pustynię. Jeżeli dodać do terenów objętych pożarami ogromną liczbę lejów po bombach i amunicji oraz szybko postępującą erozję gruntu, to rejony te swym wyglądem przypominać mogą krajobraz księżycowy. Odtworzenie stanu pierwotnego wymagać będzie ogromnych nakładów finansowych, i trwać, przynajmniej w przypadku lasów, całe dziesięciolecia.

Metodą wywoływania pożarów, w tym tzw. burz ogniowych, mogą być niszczone również olbrzymie aglomeracje miejskie.

Wypalenie roślinności może mieć miejsce we wszelkiego rodzaju działaniach, w tym przeciwpartyzanckich.

Niszczenie wierzchniej warstwy gleby może mieć miejsce w rezultacie oddziaływania na nią środków chemicznych (defolianty, desykanty, herbicydy) oraz stosowania środków mechanicznych. Do tych ostatnich należą specjalne traktory o dużej mocy, wyposażone w ogromny nóż. Znalazły one zastosowanie w Wietnamie. Zniszczono tam przy pomocy takich właśnie urządzeń 350 tys. ha zalesień, a ponadto tysiące hektarów plantacji kauczuku, sadów i pól uprawnych

(łącznie z systemem irygacyjnym). Owo "oczyszczanie terenu" spowodowało poważną i trwałą dewastację ekologiczną środowiska.

# PODSUMOWANIE

Celem niniejszej pracy, jak wynika to z ustaleń zawartych we wprowadzeniu było "ustalenie skali i skutków ewentualnej degradacji i dewastacji środowiska naturalnego pod wpływem oddzialywania na nie nowoczesnych środków rażenia w toku działań zbrojnych". Przyjęto założenie, że w pracy rozpatrywane będą procesy degradacji i dewastacji środowiska pod wpływem oddziaływania na nie broni jądrowej, chemicznej i geofizycznej. Cel pracy zamierzono osiągnąć poprzez znalezienie,w toku prowadzenia badań.odpowiedzi na pytania szczegółowe: jakie zmiany mogą mieć miejsce w środowisku naturalnym po użyciu w/w broni i które z nich prowadzą do dewastacji i degradacji środowiska ? Jakie mogą być skutki dewastacji i degradacji środowiska po użyciu rozpatrywanych rodzajów broni dla materii ożywionej, przede wszystkim zaś dla ludzi ? Odpowiedzi na tak sprecyzowane pytania zostały przedstawione w sformułowanej hipotezie roboczej.

Przeprowadzone badania potwierdziły w pełni ustalenia zawarte w hipotezie roboczej. Umożliwiły też sprecyzowanie odpowiedzi na postawione pytania szczegółowe i tym samym osiągnięcie założonego celu pracy. Odpowiedzi na pytania szczegółowe są następujące:

1. Po użyciu w toku działań zbrojnych broni jądrowej jej czynniki rażenia, a szczególnie fala uderzeniowa, promieniowanie cieplne i promieniotwórcze skażenie terenu powodują degradację bądź dewastację środowiska naturalnego.

Efektem działania fali uderzeniowej są zniszczenia obiektów i terenu. W miastach w rezultacie działania tego czynnika rażenia powstają pożary i zawały. W rezultacie zburzenia obiektów, pożarów i zawałów ma miejsce degradacja środowiska przyrodniczego, przy czym zdegradowane powierzchnie są proporcjonalne do mocy użytego ła-

dunku jądrowego. Przy wybuchach średniej i wielkiej mocy zdegradowane powierzchnie mogą objąć odpowiednio od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych i od kilkudziesięciu do kilkuset kilkometrów kwadratowych. Na tak ogromnych powierzchniach mogą znajdować się dziesiątki a nawet setki obiektów, które ulegną zniszczeniu. Jeden ładunek jądrowy wielkiej mocy może zniszczyć wielomilionowe miasto i spowodować ofiary liczone w setkach tysięcy ludzi. Usunięcie takich zniszczeń wymagałoby wielu lat, a może dziesięcioleci i związane byłoby z wielkimi nakładami finansowymi.

Efektem działania promieniowania cieplnego wybuchu jądrowego są przede wszystkim pożary punktowe i powierzchniowe, przy czym promienie stref ich powstawania wahają się, w zależności od mocy wybuchu, w szerokich granicach - od kilkuset metrów (przy bardzo małych mocach) do kilku kilometrów (przy średnich mocach) i kilkudziesięciu kilometrów (przy wybuchach ładunków dużej i wielkiej mocy). Takim promieniom odpowiadają powierzchnie odpowiednio kilku, kilkunastu do kilkudziesięciu i kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów kwadratowych. Można oczekiwać, że wszystkie palne obiekty i przedmioty znajdujące się w granicach wymienionych powierzchni ulegną spaleniu. Odtworzenie zdegradowanych obiektów zawsze wymagać będzie lat i ogromnych nakładów finansowych, zaś spalonych lasów - nakładów finansowych i czasu liczonego w dziesiątkach lat.

Skażenia promieniotwórcze terenu, które powstają w wyniku powietrznych, naziemnych i otwartych podziemnych wybuchów jądrowych, a także w wyniku emisji substancji promieniotwórczych z uszkodzonego reaktora jądrowego mogą degradować obszary, w zależności od mocy zdetonowanego ładunku jądrowego (mocy reaktora jądrowego i rodzaju uszkodzenia) od kilkudziesięciu kilometrów kwadratowych do kilkudziesięciu tysięcy kilometrów kwadratowych.

W przypadku wybuchów naziemnych i otwartych podziemnych następuje dewastacja skażonego środowiska. Długożyciowe izotopy promieniotwórcze, przede wszystkim stront i cez, skażają bowiem teren na okres od dziesiątków do setek lat, stwarzając jednocześnie zagrożenie w wyniku obiegu nuklidów promieniotwórczych w przyrodzie, dla ludzi, którzy będą korzystać z żywności wyprodukowanej w skażonym rejonie. Wybuchy jądrowe wykonane w troposferze i stratosferze oraz wybuchy dużej i wielkiej mocy wykonane na ziemi, dając tzw "opad globalny" powodują podwyższenie naturalnego tła promieniowania jonizującego w skali światowej, co może w konsekwencji podwyższać ilość niekorzystnych, dziedzicznych mutacji genów. Niekorzystne mutacje mogą ujawnić się w przyszłych pokoleniach, a przy ich masowej skali prowadzić do degeneracji gatunku homo sapiens.

2. Zmiany w środowisku naturalnym powodowane przedostaniem się do niego, w wyniku działań zbrojnych, chemicznych substancji toksycznych są zróżnicowane i zależą przede wszystkim od właściwości fizykochemicznych i toksycznych tych środków.

Bojowe środki trujące powodują degradację środowiska naturalnego na krótkotrwały okres, ograniczony czasem ich trwałości w terenie (od kilku dni do czterech miesięcy). Tylko w czasie obecności środka trującego w terenie możliwe są porażenia ludzi i zwierząt. Porażenia roślinności, przy obecnie stosowanych gęstościach środków trujących są mało prawdopodobne. Potwierdzają to doświadczenia z bojowego użycia środków trujących w minionych wojnach. Nie ma dowodów na to, że środki trujące zastosowane w okresie pierwszej wojny światowej i późniejszym wywarły ujemne skutki ekologiczne. W przypadku użycia środków fosforoorganicznych, nie stosowanych w toku minionych wojen, można oczekiwać krótkotrwałego zakłócenia równowagi ekologicznej. Dynamiczna równowaga biologiczna w środo-

wisku mogłaby zostać zakłócona na dłuższy okres jedynie w przypadku skażenia dużych obszarów i zniszczenia tam wszystkich postaci życia zwierzęcego. Degradacja środowiska wodnego, do którego dostały się bojowe środki trujące, będzie również ograniczona w czasie, przy czym ograniczenia będą wynikać z czasu utrzymywania się skażenia w wodzie. Wpływ bojowych środków trujących na florę będzie prawdopodonie znikomy, istotny zaś dla fauny, szczególnie w odniesieniu do ryb i ptaków.

Toksyczne środki przemysłowe występujące w środowisku w postaci par i gazów nie powodują degradacji środowiska. Skutki uwolnienia takich środków zanikają bezpośrednio po ich odparowaniu. Z kolei toksyczne środki przemysłowe występujące w postaci ciekłej mogą przenikać do gruntu i wód powodując ich degradację na okres tygodni, miesięcy i lat. Degradacja gruntu i wód jest jednak ograniczona terytorialnie do rejonów, w których nastąpiło skażenie. Degradacja wód jest szczególnie niebezpieczna jeżeli dotyczy wód gruntowych. Wraz z nimi może bowiem rozprzestrzeniać się daleko poza obszar pierwotnych skażeń.

Spośród toksycznych środków przemysłowych występujących w stanie stałym szczególnie niebezpieczne są: dioksyna, policykliczne węglowodory aromatyczne, pestycydy i metale ciężkie. Jako związki chemiczne odporne na rozkład biologiczny i chemiczny skażające gleby na okres wielu lat, powodują jej degradację, wywołują negatywne skutki w biocenozie i stwarzają zagrożenie dla zdrowia ludzi.

Środki chemiczne niszczące roślinność, jak wynika to z doświadczeń wojny wietnamskiej, degradują, a nawet w wielu przypadkach dewastują środowisko naturalne na okres wielu dziesiątków lat. Niszczeniu roślinności towarzyszy zatrucie gleby. Odtworzenie wielu gatunków roślin, a szczególnie lasów, wymaga wielu dziesiątków lat

i ogromnych nakładów finansowych. Następuje zanik wielu gatunków roslin i zwierząt. Ludzie narażeni na oddziaływanie tych środków zapadają na wiele chorób, w tym również takie, które mogą zakończyć się zgonem.

3. Broń geofizyczna znajduje się na etapie badań. Tylko niektóre techniki oddziaływania na biosferę mogą być współcześnie używane i to tylko w określonych warunkach geograficznych. Żadna ze stosowanych tachnik nie może byc w pełni kontrolowana. Techniki te oddziaływują na poszczególne sfery, przy czym skutki ich oddziaływania obejmują także ludność cywilną. Zmiany wywoływane przez broń geofizyczną, w przypadu wymknięcia się jej spod kontroli, mogą dotknąć pobliskie państwa neutralne, a nawet państwo używające broń geofizyczną. Jednym z ważnych aspektów modyfikacji geofizycznych jest to, że mogą one być przeprowadzone skrycie. Istotne jest także to, że niektóre techniki oddziaływania na środowisko są stosunkowo tanie i powszechnie dostępne. Stąd istnieje niebezpieczeństwo, że wiele krajów w przyszłości będzie mogło je wykorzystywać w celach wojskowych.

Spośród technik, które można zaklasyfikować do właściwych dla broni meteorologicznej już dziś mogą być wykorzystane te, które oddziaływują na warstwę ozonu w atmosferze, powodują opady deszczu, śniegu i gradu, zapobiegają opadom atmosferycznym i wywołują suszę. Zastosowanie odpowiednich środków może wywołać czasową degradację środowiska, której rezultaty mogą być wykorzystane do celów walki zbrojnej. Mało prawdopodobne jest wykorzystanie współczesnych technik wojny meteorologicznej, które mogłyby wytwarzać w atmosferze sztuczne pole magnetyczne, modyfikować wyładowania elektryczne oraz wywoływać cyklony.

Spośród technik modyfikacji hydrosfery współcześnie możliwe jest zastosowanie tych, które mogą powodować: skażenie wód mórz i oceanów środkami promieniotwórczymi; zakłócenie wymiany cieplnej i gazowej między hydrosferą i atmosferą, zatopienia terenu; wywoływać zachmurzenia i powodować rozpraszanie chmur; wywoływać mgłę i powodować jej rozpraszanie. Mało przewdopodobne jest zastosowanie technik, które mogą powodować: zmiany właściwości fizykochemicznych wód mórz i oceanów; wytwarzać w wodach mórz i oceanów pole elektromagnetyczne i akustyczne; roztopienie się lodów polarnych, zmianę przepływu prądów morskich.

Skażenie wód mórz i oceanów substancjami promieniotwórczymi może spowodować dewastację skażonych wód na okres dziesięcioleci. Istnieje groźba rozprzestrzeniania się skażeń w środowisku poprzez florę i faunę morską.

Zakłócenie wymiany cieplnej i gazowej pomiędzy atmosferą i hydrosferą przez dłuższy okres czasu może spowodować degradację środowiska wodnego na okres miesięcy i lat. Odtworzenie stanu pierwotnego może być trudne i wymagać długiego okresu.

Zatopienia terenów, szczególnie położonych poniżej poziomu wód (w depresji) może spowodować dewastację terenu na okres lat. Odtworzenie stanu pierwotnego będzie trudne i kosztowne.

Spośród technik modyfikacji litosfery współcześnie możliwe jest użycie tych, które mogą powodować lawiny i zawały (tylko w górach) oraz niszczenie gleby. Na razie raczej teoretyczne jest wykorzystanie technik powodujących trzęsienia ziemi oraz wybuchy wulkanów.

Powyższe ustalenia nie są ostateczne. W miarę postępu nauki, poznawania przyrody i zjawisk fizykochemicznych, które zachodzą w biosferze oraz rozwoju techniki, możliwości zastosowania środków

i metod właściwych dla wojny geofizycznej prawdopodobnie znacznie się rozszerzą.

Niniejsza praca nie zawiera ostatecznych ustaleń w ramach problemu degradacji i dewastacji środowiska naturalnego pod wpływem działań zbrojnych. Zawiera, zdaniem autorów, ustalenia wstępne, które powinny być zweryfikowane w toku dalszych, bardziej szczegółowych badań.

# SPIS LITERATURY

## LITERATURA OGÓLNA

1. BARNIER M. Atlas wielkich zagrożeń, WNT, Warszawa 1995.
2. BATES M. Człowiek i jego środowisko, PWN, Warszawa 1967.
3. Definicje pojęć z zakresu ochrony środowiska, GUS, Warszawa 1993.
4. ŚLADKOWSKI St., Wojna a degradacja środowiska przyrodniczego, Myśl Wojskowa nr 1, Warszawa 1994.
5. ZBIOROWE, Środowisko naturalne Polski i jego zagrożenie, skrypt, AON, Warszawa 1991.
6. ZBIOROWE, Biosfera, zbiór artykułów z "Scientyfic American", PWN, Warszawa 1973.

## LITERATURA DO ROZDZIAŁU 2.

1. BAŁTRUKIEWICZ Z. DERECKI J. Zarys patologii popromiennej i ochrony radiologicznej, podręcznik, MON, Warszawa 1981.
2. Bojewyje swojstwa jadiernogo oružija, t. I, II, III, MOskwa, 1980.
3. Broń jądrowa, podręcznik, MON, Warszawa 1964.
4. HOFFMANN M. Kernwaffen und Kernwaffenschutz, Militärverlag, Berlin 1972.
5. JAWOROWSKI Z. Radioaktywność a zdrowie ludzkie, PWN, Warszawa 1964.
6. JUNGK R. Państwo atomowe. O postępie ku nieludzkości, PIW 1982.
7. ŁAWRENCZIK W.N. Globalnoje wypadienije produktow jadiernych wzrywow, Atomizdat, Moskwa 1965.
8. MAJLE T. ZAJDEL J. Ogólne zasady ochrony przed promieniowaniem jonizującym, PZWL, Warszawa 1976.
9. MARTIN Ch. N., Czy godzina "H" już wybiła dla świata? MON, Warszawa 1956.
10. Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej po awarii elektrowni jądrowej, MON, Warszawa 1992.

11. Metodyka prognozowania i oceny strat w rejonach uderzeń jądrowych, MON, Warszawa 1991.
12. Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON, Warszawa 1991.
13. O działaniu posterunków podczas obserwacji wybuchów jądrowych i wykrywania skażeń, instrukcja, MON, Warszawa 1977.
14. OUGHTERSON A. WARREN S. Medical effect of the atomic bomb in Japan, Nowy Jork, Toronto, Londyn, 1956 (przetłumaczone na język rosyjski i wydane w Moskwie w 1960 r).
15. Raport w sprawie następstw katastrofy w Czernobylu wraz z załącznikami, PAA, Warszawa 1991.
16. Raport Komisji Rządowej do spraw oceny promieniowania jądrowego i działań profilaktycznych pod przewodnictwem wiceprezesa Rady Ministrów Zbigniewa Szałajdy, RZECZPOSPOLITA, Warszawa 1986.

## LITERATURA DO ROZDZIAŁU 3.

1. AZARIEW S. Primienienije amerykańskimi interwentami chimiczeskogo orużija w Jużnom Wietnamie, Wojennaja Mysl nr 8/68.
2. BUDZINSKI J. Wielki Front Indochiny, MON, Warszawa 1971.
3. CZARNYSZEWICZ L. Herbicydy, defolianty, desykanty - nowa broń chemiczna, PWL i OPK nr 4. Warszawa 1993.
4. DANIKER G. "Warum sie nicht siegten", Stuttgart, 1969.
5. GOLISZEWSKI Cz. Ryżowe pola w ogniu, MON, Warszawa 1966.
6. KRAUZE M. NOWAK I. Broń chemiczna. MON, Warszawa 1983.
7. KRZYSZOWSKI Cz. Pestycydy - nowa broń chemiczna. Myśl Wojskowa nr 4, Warszawa 1972.
8. Metodyka oceny sytuacji chemicznej, MON, Warszawa 1981.
9. Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi, MON, Warszawa 1993.
10. MUSIALIK Z. "Użycie środków trujących w działaniach bojowych w Wietnamie i wynikające stąd wnioski dla wojsk i sztabów, praca dyplomowa, ASG WP, Warszawa 1980.
11. NOWAK I. "O użyciu środków trujących w wojnie wietnamskiej", Myśl Wojskowa nr 2, Warszawa 1981.

12. PIKE D. Vietkong, Wien und Munchen, 1968.
13. PERRY J. "The rise of CB weapons, SIPRI, Stockholm, 1972.
14. ROTHSHILD J.U. Tomarow's weapons, Mc Graw Hill, Nowy Jork 1964.
15. RUSSEL B. Zbrodnie wojenne w Wietnamie, MON Warszawa 1967.
16. SAMARIN A.Gerbicydy - orużije Pentagona, Zarubieżnoje Wojennoje Obozrenije 5/78.
17. SIELECKA K, FILIPOWICZ Z, SZYMCZAK D. Środki do niszczenia roślin, WICh i R, Warszawa 1970.
18. WESTING A. Herbicydes in war: the longterm ecological and humen consekquences., SIRRI, Londyn, Filadelfia, 1984.
19. ZIELENCOW W.A. Narod Wictnama pobicdit, Moskwa 1966.
20. ZBIOROWE. Broń CB, stopień zagrożenia, problemy zakazu. MON, Warszawa 1971.
21. ZBIOROWE. Wietnam. Chimiczeskaja wajna, Hanoi 1972.
22. ZBIOROWE. Preparaty chemiczne do defoliacji idesykacji roślin, Warszawa, 1969.
23. ZBIOROWE. Raport Sekretarza Generalnego ONZ o broni chemicznej i bakteriologicznej (biologicznej) Książka i Wiedza, Warszawa, 1969.

## LITERATURA DO ROZDZIAŁU 4.

1. Dyskusja międzynarodowych ekspertów nad groźbą rozwijania nowych rodzajów i systemów broni masowej zagłady, ASG WP, Sygnały nr 10(21) Rembertów 1977.
2. GRANVILLE Pierre, Perspektywy wojny meteorologicznej i geofizycznej, Defense Nationale, Styczeń 1994.
3. HERLINGER J., Człowiek w walce z żywiołem, KAW, Warszawa 1978.
4. KLIMOWICZ R.,Walka i broń geofizyczna, Myśl Wojskowa nr 5 Warszawa 1992.
5. KOŁOEDZIEJCZYK B., Co będzie jutro ? wyd. MON, Warszawa 1978.
6. KONIEW G., Dlitielnaja jadiernaja wajna, Zarubieżnoje Wojennoje

Obozrenije, nr 10, Moskwa 1978.
7. ŁAGOSZ M., Wojna geofizyczna, Wojsko Ludowe nr 7. Warszawa 1977.
8. MAKSIMOW N., Raboty po sozdaniju nowych widow oružija za rubieżom. Zarubieżnoje Wojennoje Obozrenije nr 4, Moskwa 1978.
9. MAKSIMOW N., Geofizyczeskaja wojna Pentagona w Jugowostocznoj Azji, Zarubieżnoje Wojennoje Obozrenije nr 1, 1973.
10. MŚLANKIEWICZ K.,Wulkany i człowiek, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1975.
11. RIEZANOW I. Wielkie katastrofy w historii Ziemi, PWN, Warszawa 1975.
12. ROGNIEDIN I. Geofizyczeskaja wajna - realnost i wozmożnost, Wojennaja Mysl, Moskwa 1974.
13. SIPRI o wojnie ekologicznej, ASG, Sygnały 8(10), Rembertów 1976.
14. STARUCH E., Meteorologia i środowisko, PWN, Warszawa 1975.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 69230
Akademii Obrony Narodowej