

Atmosfera Ziemi: Powstanie, skład, zanieczyszczenia

Autor tekstu: **A. Godlewska-Lipowa, J.Y. Ostrowski**

Wstęp

Badania geologów umożliwiają spojrzenie w przeszłość, kiedy Ziemia rodziła się z pyłów i gazów kosmicznych około 4,6 mld lat temu. Półpłynna gorąca materia młodej Ziemi powoli stygła do około 100°C. Ciężkie pierwiastki i ich związki gromadziły się wewnątrz Ziemi. Lekkie substancje, które wydobywały się z milionów czynnych wówczas wulkanów, głównie: wodór (H_2), hel (He), azot (N_2), para wodna (H_2O), tlenek i dwutlenek węgla (CO i CO_2), związki siarki oraz metan (CH_4) tworzyły pierwotną atmosferę, która nie zawierała tlenu. Najlżejsze z nich — wodór i hel uciekły w przestrzeń kosmiczną. Wiek najstarszych minerałów zwanych cyrkonami ocenia się na około 4,2 mld lat; wiek najstarszych oceanów na około 3,6 mld lat, a najstarszych skał — na 4,03 mld lat.

Formowanie się atmosfery

Powierzchnia — lądy i oceany — młodej Ziemi, jak i jej atmosfera, nie zawierały ani materii organicznej ani wolnego tlenu. Pierwszymi formami życia były bakterie, które do procesów życiowych nie potrzebowały ani tlenu ani związków organicznych. Żyły one w środowiskach silnie zasolonych, zakwaszonych lub alkalicznych oraz w temperaturach nawet powyżej 55° C. Ten rodzaj bakterii żyje współcześnie w złożach węgla kamiennego, ropy naftowej, w rozlewiskach Parku Yellowstone, gejzerach Nowej Zelandii, w gorących wodach wulkanicznych na Sachalinie i na Sycylii. W wyniku procesów biochemicznych powstaje siarkowodór, złoża siarki i rudy żelaza.

W latach 90. ub. stulecia w Pacyfiku na głębokości około 11 km odkryto oazy hydrotermalne, z których pod ciśnieniem kilkuset atmosfer wydobywają się lawiny wody o temp. około 400°C zawierające siarkę, żelazo, miedź i inne metale. W wyniku działania bakterii beztlenowych powstają kuliste konkracje metaliczne. Są one eksploatowane do celów przemysłowych.

Jednak do rozwoju wyższych form życia konieczne było powstawanie nowych układów enzymatycznych, wykorzystujących tlen. A tlenu w atmosferze nie było. Stopniowo, bakterie beztlenowe wytworzyły mechanizmy wykorzystujące energię słoneczną - ukształtowały się procesy fotosyntezy. W komórkach bakterii wytworzył się pigment podobny do chlorofilu, który zawiera kompleks enzymatyczny zdolny do wykorzystania energii słonecznej. W wyniku fotosyntezy do atmosfery uwalnia się tlen. Bakterie te stopniowo, w ciągu milionów lat, opanowywały środowiska wodne i lądowe. W tym czasie pojawiły się inne fotosyntetyzujące organizmy jednokomórkowe — sinice, które oprócz fotosyntezy mają zdolność do fotolizy wody, w czasie której również wyzwala się tlen. Sinice wraz z bakteriami tworzyły kolonie na powierzchni wód; następowała impregnacja krzemionką (SiO_2). Powstawały z nich najstarsze (około 2,5 mld lat) skały — stromatolity. W skałach tych znaleziono skamieniałe bakterie i sinice nie różniące się od współczesnych. Z czasem powstały glony, organizmy wyżej zorganizowane od bakterii i sinic, które drogą fotosyntezy wytwarzają tlen ze znacznie większą intensywnością. Tlen powstaje również w wyższych warstwach atmosfery w wyniku fotodysocjacji pary wodnej pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. Uwolniony w tym procesie wodór jako najlżejszy uciekał w przestrzeń kosmiczną. Stopniowo pojawiały się inne organizmy fotosyntetyzujące: fitoplankton na powierzchni wód oraz rośliny wyższe na lądzie. Organizmy te wytwarzały około 40 proc. tlenu. W ciągu setek milionów lat z molekuł tlenu (O_2) tworzyła się pod wpływem promieniowania słonecznego warstwa ozonu (O_3). Ozon pochłania ultrafioletowe promienie słoneczne (w zakresie długości fali poniżej 300 nm [1]) i w ten sposób chroni organizmy przed ich zabójczymi skutkami. Z tego wynika, że niektóre gatunki bakterii i sinic wytwarzające tlen były (i nadal są) odporne na szkodliwe działanie ultrafioletu.

Skład atmosfery

Lądy i wody Ziemi otacza od góry warstwa atmosfery składająca się ze stałych ilości:
Racjonalista.pl Strona 1 z 6

azotu (N_2) 78,09 proc., tlenu (O_2) 20,95 proc., argonu około 0,93 proc. oraz śladowych (około 10^{-4} proc.) ilości neonu, helu, kryptonu i ksenonu; zmiennych składników: dwutlenku węgla CO_2 w ilości od 0,02 do 0,04 proc. oraz śladowe (około 10^{-4} proc.) ilości metanu, wodoru i podtlenku azotu; oraz: pary wodnej (0-4 proc.), i śladowych ilości (około 10^{-6} proc.) ozonu (O_3), tlenków azotu, amoniaku i związków siarki.

Cała masa atmosfery wynosi $5,3 \times 10^{15}$ ton (milion miliardów), co w porównaniu z masą Ziemi (6×10^{21} ton) nie jest wielkością znikomą.

Dwutlenek węgla, para wodna, metan i ozon są — każdy w różnym stopniu — gazami cieplarnianymi. Ogólnie biorąc, gazy cieplarniane charakteryzują się tym, że przepuszczają widzialne (o długości fali 400-800 nm) promienie Słońca, a pochłaniają (w różnym, ale znacznym stopniu) podczerwone (tzw. ciepłe) promieniowanie powierzchni Ziemi (o długości fali w zakresie około 900-1100 nm).

Ciśnienie atmosferyczne szybko maleje z wysokością. Na Mount Blanc ciśnienie spada prawie do połowy, a zatem ilość tlenu spada do około 11 proc.; na Mount Everest ilość tlenu spada do około 7 proc. Pomimo to organizm ludzki może dostosować się na tyle, aby przez kilka dni wspinać się w Himalajach bez aparatów tlenowych.

W atmosferze istnieje kilka warstw różniących się właściwościami takimi jak ciśnienie, temperatura, skład chemiczny, zapylenie i skład docierającego promieniowania słonecznego; zwłaszcza strumienia elektronów i protonów, które pobudzając atomy powietrza do świecenia wywołują zorze polarne. Najbliższą stałej powierzchni Ziemi warstwą atmosfery jest **troposfera**, która skupia około 80 proc. masy całej atmosfery; jej grubość nad biegunami wynosi około 10 km a nad równikiem około 16 km. Nad troposferą do wysokości około 50 km rozciąga się **stratosfera**, w której występuje ozon (trójatomowa molekula tlenu O_3).

W poprzednich okresach geologicznych skład atmosfery różnił się od obecnego; gdyby był podobny, to średnia temperatura powierzchni Ziemi byłaby niższa od $0^\circ C$; podczas gdy obecnie średnia temperatura powierzchni wynosi około $+15^\circ C$. Np. stężenie dwutlenku węgla było około 600-krotnie wyższe od obecnego, co powodowało, wskutek efektu cieplarnianego, utrzymywanie się temperatury powierzchni Ziemi około $75^\circ C$. Wraz z rozwojem życia na Ziemi pojawiały się amoniak i metan pochodzenia organicznego. O zmianach w składzie atmosfery w ciągu ostatnich paru tysięcy lat dowiadujemy się z pomiarów zawartości gazów w powietrzu uwięzionym w lodach Antarktydy, Grenlandii i niektórych lodowcach wysokogórskich. W ciągu ostatnich 160 tyś. lat następowały drastyczne zmiany stężenia CO_2 , azotu i metanu. Badania składu powietrza pobranego z lodowca z głębokości 2083 m na stacji *Wostok* we wschodniej Antarktydzie wykazały, że stężenie metanu i CO_2 wzrosło w tym czasie prawie dwukrotnie. Zmiany te były uwarunkowane zmianami klimatycznymi.

Azot był od początku głównym składnikiem atmosfery. Jest to pierwiastek słabo aktywny chemicznie, ale jest niezbędnym składnikiem substancji organicznej. Azot jest też jednym z pięciu pierwiastków najczęściej występujących we Wszechświecie; spotyka go się często w połączeniu z najliczniejszym (74 proc.) głównym pierwiastkiem Wszechświata - wodorem, tworząc razem amoniak (NH_3).

Metan (CH_4) jest pochodzenia wulkanicznego i biologicznego. Na bagnach w wyniku rozkładu materii organicznej w warunkach beztlenowych wydziela się metan, który jest gazem palnym i ujawnia się w postaci *błędnych ogników*. W dużych stężeniach występuje w osadach dennych mórz i oceanów. Ostatnie badania wykazały duże stężenia metanu w Morzu Sargassowym, w tzw. Trójkącie Bermudzkim. Woda nasycona metanem ma mniejszą gęstość i okręty znajdujące się w Trójkącie toną. Metan ulatniając się do atmosfery powoduje zaburzenia psychiczne u załogi oraz niebezpieczne zmiany w składzie mieszanki paliwowej w silnikach samolotów. W niewyjaśniony do niedawna sposób utonęło tam około 50 statków i spadło około 20 samolotów. Przypisywano te katastrofy działaniom sił nadprzyrodzonych. Tak duże ilości metanu tworzą się wskutek rozkładu nagromadzonej materii organicznej, głównie brunatnic, które masowo się tam rozwijają. Metan powstaje również w wyniku produkcji rolniczej i hodowlanej.

Skazenia atmosfery — przyczyny i konsekwencje

Człowiek wdycha około 9 kg powietrza na dobę; jest to kilkakrotnie więcej niż

masa wypijanej w tym czasie wody i spożywanej żywności. Dlatego wszelkie, nawet niewielkie, zanieczyszczenia powietrza mogą powodować poważne zatrucia.

Najpoważniejszym źródłem zanieczyszczeń gazowych jest przemysł ciężki, który emituje około 54 proc. wszystkich gazów; z tego 75 proc. stanowi tlenek węgla (CO), którego roczna emisja wynosi około 3,4 mln ton. Tlenek węgla blokuje aktywność hemoglobiny, co powoduje śmierć ludzi i zwierząt. Do atmosfery emitowane są też tlenki siarki w ilości około 400 mln ton rocznie. Szkodliwe działania wywołują także tlenki azotu, których globalna emisja oceniana jest na około 160 mln ton rocznie.

Tlenki siarki i azotu tworzą w atmosferze z parą wodną kwasy siarkowy i azotowy, które opadają w postaci kwaśnych deszczów. Zakwaszeniu i zniszczeniu ulegają gleby i wody oraz żyjące w nich organizmy. Na skutek kwaśnych deszczów giną lasy, zwłaszcza szpilkowe; zniszczeniu ulega nawet ich system korzeniowy. Np. Szwajcarii w ostatnich latach uległo zniszczeniu ponad 40 proc. lasów, w Szwecji ponad 60 proc.; w Polsce ginie puszcza Niepołomska i lasy Izerskie. Kwaśne deszcze powodują korozję sprzętu metalowego; niszczenie cennych budowli architektonicznych (np. piramid, sfinksów, Akropolu i wielu innych).

Groźne, jako wysoko toksyczne, są **zanieczyszczenia pyłowe**. Przemysł metalurgiczny emituje do atmosfery około 55 proc. pyłów, wśród nich metale ciężkie (ołów, nikiel, cynk, kadm, arsen, rtęć i inne). Duże ilości pyłów emitują cementownie, budownictwo i przemysł chemiczny. W dużych miastach pojawia się smog, który jest wynikiem zapylenia i wysokiej wilgotności powietrza. Np. w Londynie w 1952 roku z powodu smogu w ciągu kilku dni zmarło na skutek zakażenia dróg oddechowych około 7 tys. ludzi, a poza tym u wielu pojawiły się długotrwałe nieżyty gardła i krtani. W ostatnich latach sytuacja uległa poprawie w wyniku zabronienia przez władze Londynu palenia w tradycyjnych kominkach domowych. W mieście Meksyk na wysokości 2240 m tłoczy się 20 mln mieszkańców, 3 mln aut i 13 tys. fabryk; powoduje to około 10 tys. zgonów rocznie. W Chorzowie zanieczyszczenie pyłami przekracza niemal 10-krotnie poziom dopuszczalny w zachodnich krajach europejskich. Warto wspomnieć, że zanieczyszczenia pyłowe sprzyjają powstawaniu ozonu w troposferze (warstwie powietrza przy powierzchni ziemi do około 10 km) gdzie działanie jego jest szkodliwe dla człowieka i niektórych roślin.

Wzrastające na całym świecie zapotrzebowanie na energię powoduje wzrost zanieczyszczeń atmosfery gazami i pyłami pochodzącymi ze spalania kopalnych źródeł energii: gazu ziemnego, węgla brunatnego i kamiennego oraz ropy naftowej. W Chinach, a również i w Polsce, miliony ludzi ogrzewa mieszkania drewnem lub węglem zanieczyszczając powietrze ogromnymi ilościami pyłów i dymów zawierających siarkę. **W celu ograniczenia zanieczyszczeń atmosfery należy sięgnąć do czystych, odnawialnych i niewyczerpywalnych źródeł energii jakimi są słońce, wiatr i wodospady.** Trzeba w tym miejscu przypomnieć, że w Polsce budowa urządzeń wykorzystujących energię słoneczną — dotychczas beztrąsko zaniedbana -powinna stać się sprawą pierwszorzędnej wagi z powodów ekologicznych i ekonomicznych.

Atmosfera jest również zanieczyszczana w wyniku **procesów naturalnych**, głównie wybuchami wulkanów. Np. wybuch wulkanu św. Heleny w 1980 roku był równoważny sile eksplozji 27 tys. bomb zrzuconych na Hiroszimę. Pyły wyrzucone z wulkanu utworzyły ekran dla promieni słonecznych, co wywołało nagłą okresową zmianę klimatu w stanie Waszyngton. Podobne zanieczyszczenia atmosfery wywołały w ostatnich latach wybuchy wulkanów *El Chichon* w Meksyku w 1982 roku oraz *Pinatu* na Filipinach w 1991 roku.

W wyniku zanieczyszczeń antropogennych zniszczeniu ulega ozonosfera, która chroni biosferę przed szkodliwym promieniowaniem ultrafioletowym (200-280 nm). Najbardziej niebezpieczne są freony (związki fluorochlorowe, CFC) masowo produkowane na potrzeby chłodnictwa oraz związki chlorowco-pochodne wytwarzane głównie przy produkcji mas plastycznych i w niektórych innych gałęziach przemysłu. Związki te wchodzą w ozonosferze w reakcje z tlenkami azotu tworząc azotany chloru (ClONO₂). W niskich temperaturach (około -70°C) gazy te wchodzą w skład chmur zawierających drobne kryształki lodu, gdzie z azotanu chloru uwalnia się chlor (Cl₂) o dużej reaktywności chemicznej, który pod wpływem promieni ultrafioletowych rozpada się na chlor atomowy (Cl), reagujący następnie z ozonem (O₃) rozbijając go na O₂ i O. **W ten sposób jeden atom chloru może rozbić wiele tysięcy molekuł ozonu.** W podobny sposób działają atomy bromu (Br). Wydaje się, że tlenki azotu

wydzielane przez samoloty ponaddzwiękowe latające w ozonosferze na wysokościach około 20 km również powodują redukcję ozonu. Warto wspomnieć, że samoloty *Concorde* latające poniżej ozonosfery mają nikły wpływ na redukcję ozonu.

W wyniku niszczenia ozonosfery szkodliwe ultrafioletowe promieniowanie Słońca przenika do biosfery, co stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt; powoduje np. raka skóry i zaćmę. Promieniowanie to uszkadza wielkie molekuly organiczne, a w szczególności DNA, powodując niekontrolowane zmiany genetyczne; pojawiają się mutacje w genotypie niektórych drobnoustrojów, roślin i zwierząt; w ekosystemach wodnych ginie plankton, co powoduje zmniejszenie asymilacji CO₂, a w konsekwencji zwiększenie stężenia dwutlenku węgla w atmosferze.

W trosce o stan ozonosfery w 1987 roku w Montrealu podpisano protokół, w którym zalecano zmniejszenie produkcji węglowodorów chloropochodnych do 1999 roku. W wyniku wielokrotnych ratyfikacji protokołu z Montrealu nastąpiło znacznie zmniejszenie produkcji: z 1,26 mln ton do zaledwie 141 ton w 1996 roku. Jednakże liczby te nie uwzględniają nielegalnej produkcji i sprzedaży na czarnym rynku.

Ultrafioletowe promienie Słońca o fali krótszej od 200 nm jest całkowicie pochłaniane przez atmosferę, głównie przez molekuly NO, N₂, O₂, N₂O.

Antropogenne katastrofy ekologiczne

W 1984 roku w Indiach awaria w fabryce pestycydów spowodowała śmiertelne zatrucie około 4000 ludzi izococyjanianem metylu. W 1990 roku w czasie wojny w Zatoce Perskiej wojska Iraku podpaliły 650 czynnych szybów naftowych, które płonęły przez kilka miesięcy. Spowodowało to zniszczenie całego ekosystemu Zatoki Perskiej, nad którą unosiło się około 5 mld ton sadzy rozprzestrzenionej na odległość ponad 500 km. Sadze są toksyczne i rakotwórcze, należą one do groźnych alergenów, powodują choroby układu oddechowego i oczu. Sadza osiada na liściach i uniemożliwia transpirację i fotosyntezę. W Kuwejcie uległy zniszczeniu łąki, na których wypasano bydło. Podobne skutki obserwuje się przy pożarach lasów.

Wśród syntetycznych związków chemicznych tysiąc razy bardziej śmiertelne niż arsenik są **dioksyny**. Są one produktem ubocznym przy produkcji pestycydów, mas plastycznych i innych związków zawierających chlor; powstają również przy spalaniu śmieci zawierających tworzywa sztuczne. Dioksyny gromadzą się w powietrzu, wodzie, glebie, osadach dennych i żywności. Dioksyny odegrały tragiczną rolę w czasie wojny amerykańsko-wietnamskiej jako herbicyd pod wojskowym kryptonimem *Agent Orange*. Armia USA rozrzuciła na obszarze ponad 14 tys. km² około 72 tys. m³ tego herbicydu. Celem tej operacji było pozabawienie liści drzew w puszczy tropikalnej, w której ukrywały się wojska wietnamskie. Po wojnie, u żołnierzy amerykańskich i ich dzieci pojawiły się choroby nowotworowe i upośledzenia umysłowe.

Skażenia atmosfery wywołane katastrofami nuklearnymi badane są głównie przez wojsko i ich wyniki są w znacznym stopniu utajniane. W związku z tym nasza wiedza nie jest pełna o skutkach bombardowań Hiroszimy i Nagasaki w 1945 r. jak i o doświadczalnych wybuchach "Bravo" w USA w latach 1953-56; jak również o napromieniowaniu żołnierzy na poligonach pustyni Nevada w USA oraz w Kazachstanie w ZSRR. Opady radioaktywne po wybuchach nuklearnych rozprzestrzeniają się z prądami powietrza prawie po całym globie. Np. w latach 60. u reniferów na Alasce stwierdzono chorobę popromienną wynikającą z kumulacji pierwiastków radioaktywnych w porostach, które są ich głównym pokarmem. Substancje radioaktywne przedostające się do atmosfery po awarii jednego z czterech reaktorów elektrowni w Czernobylu w 1986 r. unoszone były przez wiatr nad prawie całą północną Europę, powodując skażenie powietrza, wody i gleby. Różne źródła podają bardzo rozbieżne skutki katastrofy w Czernobylu. Warto wspomnieć, że szkody wyrządzone przez promieniowanie jonizujące sumują się nie tylko w ciągu życia organizmu napromieniowanego ale są również przekazywane potomstwu.

W wyniku narastającego zanieczyszczenia atmosfery gazami cieplarnianymi (CO₂, CO, metan, freony, para wodna i inne) w dyskusjach parlamentarnych wielu krajów mówi się o zagrożeniach biosfery spowodowanych wzrostem temperatury powierzchni Ziemi. W ostatnich 100 latach średnia temperatura wzrosła zaledwie o 0,7°C. Na ile zagrożenia te są realne, zdania w kręgu klimatologów są podzielone. Warto jednak zauważyć, że nawet niewielki wzrost

temperatury w pewnych rejonach naszego globu może spowodować wzrost zachorowań na choroby zakaźne uwarunkowane czynnikami ekologicznymi.

Co robić, aby oddychać czystym powietrzem?

W celu oczyszczenia atmosfery należy 1) zredukować do niezbędnego minimum produkcję substancji zanieczyszczających takich jak freony i pestycydy; substancje te należy zastąpić produkcją związków mniej szkodliwych; 2) gazy i pyły pochodzące z przemysłu należy eliminować za pomocą wydajnych **filtrów**; 3) wprowadzać coraz powszechniej **czyste odnawialne** źródła energii; 4) opracować i **egzekwować** międzynarodowe nakazy prawne dotyczące ochrony atmosfery naszej planety.

Realizacja tych zadań staje się imperatywem naszych czasów, warunkiem przetrwania — ludzi na Ziemi.

*

„Res Humana” nr 6/2001

Alicja Godlewska-Lipowa i Janusz Y. Ostrowski są związani z Instytutem Ekologii PAN oraz Uniwersytetem Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie.

Przypisy:

[1] 1 nm (nanometr) = 10^{-9} m = jedna milionowa milimetra.

Janusz Y. Ostrowski

Fizyk, emerytowany profesor, przez wiele lat mieszkał w USA. Był założycielem Polsko-Amerykańskiego Klubu Humanistycznego (wchodzącego w skład pierwszej Federacji Polskich Stowarzyszeń Humanistycznych). Aktualnie członek zespołu konsultacyjnego Prezydium Rady Krajowej Towarzystwa Kultury Świeckiej.

[Pokaż inne teksty autora](#)

(Publikacja: 07-10-2005 Ostatnia zmiana: 31-12-2006)

[Oryginał..](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,4388) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,4388>)

Contents Copyright © 2000-2008 Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2008 Michał Przech

Autorem tej witryny jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.

Właścicielem witryny są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie niniejszym wszelkie prawa, przewidziane w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych do tej witryny i jakiegokolwiek ich części.

Wszystkie strony tego serwisu, wliczając w to strukturę katalogów, skrypty oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora.

Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tej witryny oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tej witryny i nie korzystać z jej zasobów.

Informacje zawarte na tej witrynie przeznaczone są do użytku prywatnego osób

odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów serwisu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na witrynie. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych serwisu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl