

a w konsekwencji hamująca fotolizę wody i powstawanie tlenu. Tlen atmosfery jest więc w całości tworem życia.

Bilans azotu w atmosferze, wodach i glebie wynika również wyłącznie z działalności organizmów, głównie bakterii: jedne z nich utleniają amoniak na azotany, inne redukują azotany do azotu cząsteczkowego, wreszcie jeszcze inne wiążą azot cząsteczkowy, budując aminokwasy. Dawna biosfera bakteryjna zapewniała krążenie pierwiastków biogennych (węgla, azotu, siarki, fosforu). Pierwsze bakterie, żyjąc w środowisku pozbawionym tlenu, oddychały tylko beztlenowo, w procesach przypominających fermentację. Niektóre z nich uzyskiwały również możliwość oddychania zastępując tlen utlenionymi związkami mineralnymi; siarczany ulegały przy tym redukcji na siarczki, a azotany – na azot cząsteczkowy. Krążenie węgla zapewniały autotrofy, przetwarzające dwutlenek węgla na związki organiczne, oraz bakterie cudzożywne, rozkładające związki organiczne z powrotem na m.in. dwutlenek węgla. Krążenie azotu wynikało z wbudowywania amoniaku i azotu cząsteczkowego w związki organiczne, przede wszystkim w białka, oraz z rozkładu tych związków przez bakterie z powrotnym uwalnianiem amoniaku. Uczestniczyły w tym procesy redukcji azotanów, utleniania amoniaku i wiązania azotu cząsteczkowego. Krążenie siarki wiązało się z budowaniem aminokwasów siarkowych z siarczanów i siarczków, z ponownym uwalnianiem siarkowodoru przy rozpadzie związków organicznych, a też z redukcji siarczanów oraz utleniania siarkowodoru. Ostatecznie, istniejące w naturze pokłady saletry są niemal wyłącznie pochodzenia biologicznego. Podobnie liczne pokłady siarki, siarczków i siarczanów są wytworem bakterii. Bakterie, a potem w większym stopniu inne organizmy, powodowały odkładanie pokładów węglanów, fosforanów, krzemionki.

Powierzchniowe warstwy kuli ziemskiej są więc współtworzone przez żywe istoty. Obecna atmosfera jest tworem życia, to ono zapewnia obecność tlenu, reguluje zawartość azotu i dwutlenku węgla. Tlen nie tylko umożliwia oddychanie tlenowe, bez którego nie byłoby roślin i zwierząt, ale zapewnia także utrzymanie osłony ozonowej, chroniącej życie przed szkodliwym działaniem ultrafioletu. Uwalniany przez organizmy dwutlenek

i jej konsumenci), jak i organizmy bakteryjne przystosowane do warunków beztlenowych (tj. redukcenci materii organicznej). Co więcej, taki ocean to ocean wyraźnie cieplejszy, a zatem bardziej parujący. Wzbogacenie atmosfery w parę wodną prowadzi zaś równie skutecznie do powstania efektu cieplarnianego, jak to się dzieje w przypadku dwutlenku węgla. Atmosfera bogatsza jest też w tlen, póki nie zwiąże go późniejsze utlenienie nagromadzonego w oceanie węgla organicznego. Ciepły ocean pozwala również na wielką aktywność ryftów śródoceanicznych, z czym nieodłącznie powiązany jest globalny wzrost poziomu morza i zalanie części mas kontynentalnych. Po pewnym jednak czasie dynamika procesów geologicznych i oceanograficznych nieuchronnie prowadzi do takich wydarzeń, jak na przykład ery paleozoicznej i mezozoicznej, to znaczy do powstania oceanu chłodnego i ruchliwego. A taka zmiana oceanograficzna, klimatyczna i geograficzna łączyć się musi z wielkim wymieraniem gatunków.

Najwyraźniej więc w ekosystemie globalnym mówić można o bardzo poważnych fluktuacjach. W związku z wahaniami charakteru oceanu co pewien czas zasadniczo zmieniają się rozmiary biosfery, temperatura oceanu i klimat, globalny poziom morza, zawartość tlenu w atmosferze. I warto sobie zdać z tego sprawę, bo to jest nasze środowisko naturalne.

## Jak ważono Ziemię

Tomasz KWAST

W pierwszym odruchu każdy chyba uzna, że przy wyznaczaniu masy Ziemi nieuniknione będzie wykorzystanie prawa grawitacji, np. w wersji  $g = GM/R^2$ , gdzie  $g$  oznacza przyspieszenie ziemskie,  $G$  – stałą grawitacji,  $M$  – masę Ziemi,  $R$  – jej promień. Samo zmierzenie przyspieszenia ziemskiego nie przedstawia trudności. Robiono to kiedyś metodą zrzucania różnych ciężarków ze znanej wysokości, później badając okres wahań rozmaitych wahadeł, obecnie można to robić śledząc ruch Księżyca lub sztucznych satelitów. Ale dostrzegamy tu zaraz kłopot: nie daje się w ten sposób rozseparować stałej grawitacji  $G$  i masy Ziemi  $M$ . Trzeba znaleźć sposób na niezależne ich wyznaczenie.

Pierwsze próby, podjęte jeszcze w XVIII w., polegały na pomiarze odchylenia pionu w pobliżu gór, co, oczywiście, było tu miarą przyspieszenia grawitacyjnego ze strony góry. Wyznaczało się w rezultacie stałą grawitacji przyjmując jakiś rozkład masy wewnątrz góry. Niestety, wyniki tych doświadczeń były niezbyt dokładne, czemu nie należy się dziwić, ponieważ nie jest łatwo zmierzyć te naprawdę drobne odchylenia, jak również określić położenie środka masy góry.

Inna metoda została zastosowana przez Airy'ego w 1856 r. Polegała ona na porównaniu przyspieszenia  $g$  na powierzchni Ziemi oraz  $g'$  – na określonej głębokości  $h$  w kopalni. Jeżeli przez  $\bar{\rho}$  oznaczyć średnią gęstość Ziemi, a przez  $\rho$  gęstość jej warstw powierzchniowych, to

$$g' \approx G \frac{4\pi R^3 \bar{\rho} - 4\pi R^2 h \rho}{(R - h)^2} \approx \frac{4}{3} \pi G R \bar{\rho} \left( 1 - 3 \frac{h \rho}{R \bar{\rho}} + 2 \frac{h}{R} \right),$$

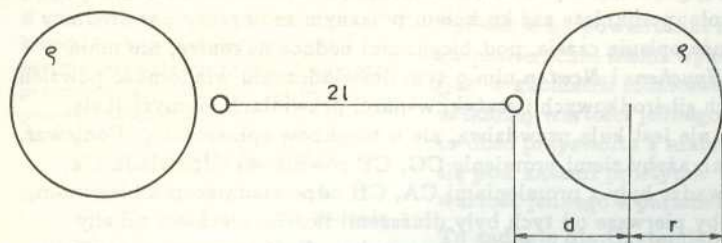
ponieważ warstwa leżąca wyżej niż obserwator nie działa na niego grawitacyjnie i  $h$  jest małe w porównaniu z  $R$ . Zatem

$$\frac{g' - g}{g} \approx \frac{h}{R} \left( 2 - 3 \frac{\rho}{\bar{\rho}} \right),$$

czyli ostatecznie mamy sposób na wyznaczenie średniej gęstości Ziemi. Dokładność tej metody też nie była wysoka z powodu słabej znajomości gęstości powierzchniowych warstw Ziemi.



Ale wcześniej, bo w 1798 r., Cavendish otrzymał dokładniejsze wyniki za pomocą tzw. wagi skręceń. Są to dwa ołowiane ciężarki umocowane na lekkim pręcie o długości  $2l$  zawieszonym poziomo na sprężystej nici. Po obu stronach tej „wagi” umieszcza się dwie duże, ołowiane (a więc o dobrze znanej gęstości  $\rho$ ) kule o promieniu  $r$ .



W polu ciężkości tych wielkich kul każda z małych kulek zachowuje się jak ciężarek wahadła matematycznego o długości  $l$ . Wahania pręta z kulkami są obserwowane przez mikroskop i mierzony jest ich okres  $t$ . Oczywiście,  $t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$ , gdzie  $g' = G \cdot 4\pi r^3 \rho / 3d^2$ .

Stąd już bezpośrednio można obliczyć stałą grawitacji

$$G = \frac{3\pi l d^2}{r^3 \rho t^2}$$

Można też inaczej. Samo przyspieszenie ziemskie  $g$  równa się  $\frac{4}{3}\pi G R \bar{\rho}$ . Dzieląc  $g'$  przez  $g$  otrzymujemy możliwość wyznaczenia średniej gęstości Ziemi

$$\frac{\bar{\rho}}{\rho} = \frac{r^3}{R d^2} \cdot \frac{g}{g'} = \frac{r^3}{R d^2} \frac{g t^2}{4\pi l}$$

Jeszcze inaczej poradził sobie Jolly w 1878 r. Na wysokiej wieży umieścił precyzyjną wagę, do której szalek doczepiona była jeszcze jedna ich para na niciach o długości ponad 20 m. Ciężar szklanej kuli z rtęcią został najpierw zrównoważony na górnych szalkach. Po przeniesieniu rtęci na dolną szalkę trzeba było wagę ponownie zrównoważyć, gdyż rtęć na dolnej szalce jest silniej przyciągana przez Ziemię. Wreszcie pod rtęć znajdującą się nadal na dolnej szalce wsunięto wielką kulę ołowianą o znanej masie i rozmiarach – wagę trzeba było jeszcze raz zrównoważyć. Dodatki niezbędne do zrównoważenia wynosiły zawsze drobne ułamki grama, jednak doświadczenie dało dobrze określony wynik, którym była wartość średniej gęstości Ziemi. Czytelnik może sobie w ramach ćwiczeń sam odtworzyć rozumowanie Jolly'ego.

Doświadczenia z grawitacją są zawsze kłopotliwe, gdyż nawet wielotonowe masy przyciągają się z ledwo mierzalną siłą – krótko mówiąc, stała grawitacji jest dość małą wielkością,  $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ . W dodatku do dziś jest najgorzej znana stała fizyczna, co pociąga za sobą, że i masa Ziemi jest znana ze skromną dokładnością –  $M_Z = 5,975 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ . Dość dokładnie jest znany iloczyn tych wielkości i np. roczniki astronomiczne podają  $GM = 3986005 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ . Planowany jest kosmiczny eksperyment, w którym na orbicie okołoziemskiej, a więc „w nieważkości”, ma się umieścić dwie masy obiegające się wzajemnie, których ruch i położenie można by mierzyć z ogromną dokładnością, skąd stała grawitacji dałoby się wyznaczyć precyzyjniej niż jakimikolwiek metodami dotychczas.

węgla, zatrzymując promienie podczerwone, zapobiega traceniu przez Ziemię ciepła, podobnie jak czynią to szkło lub folia w szklarniach.

Skład oceanu, głównego regulatora ciepła, jest w znacznej mierze zależny od aktywności organizmów. To one stabilizują zawartość węglanów i dwuwęglanów, siarczanów, azotanów, fosforanów i krzemionki. Skorupa ziemska, w odróżnieniu od skorup innych planet, zawiera duże ilości skał osadowych, a szczególnie wapieni. To żywe istoty odłożyły w Ziemi węgiel, lignit, torf, ropę i gaz. Wreszcie to żywe istoty budują glebę i zapewniają obecność w niej najważniejszego dla roślin składnika – humusu ( próchnicy).

Nie tylko czynniki fizyczne i chemiczne powierzchni Ziemi wpływają na życie i modelują przebieg ewolucji. To także same żywe organizmy współkształtują powierzchnię Ziemi i modelują jej przemiany. Ów ścisły związek między żywymi a nieożywionymi składnikami powierzchni Ziemi jest zatem i dla ewolucji życia, i dla samej Ziemi niesłychanie ważny. Uznając wagę tych zależności niektórzy uczeni uważają, że biosfera wraz z nieożywionymi składnikami Ziemi tworzy rodzaj autonomicznego, samoregulującego się systemu, któremu nadano imię greckiej bogini Matki-Ziemi, Gai. I choć większość uczonych nie przyjęła tej hipotezy, uważając, iż brak danych świadczących, że układ życie-Ziemia jest systemem autonomicznym, samoregulującym i samoodtwarzającym się, obserwacje i przesłanki leżące u podstaw tej hipotezy są zasadne.

Życie na pewno istnieje na Ziemi od około 4 miliardów lat. Natomiast dyskutowanym problemem jest pytanie, czy życie powstało tu, na Ziemi, czy też przywędrowało tu z Kosmosu. Hipotezę głoszącą, że życie pochodzi spoza Ziemi, nazywamy hipotezą panspermii. Powstała ona w połowie ubiegłego wieku, a obecnie głosi ją tylko niewielu badaczy. Problem kryje się w tym, że hipoteza panspermii też zakłada, iż życie powstało kiedyś spontanicznie. Hipoteza ta miałaby zatem sens, gdyby powstanie życia poza Ziemią było bardziej prawdopodobne niż powstanie go tutaj. Dodatkowo trzeba by przyjąć założenie, że wędrowka życia w Kosmosie jest również dość prawdopodobna. Wędrujące w Kosmosie zarodki życia narażone byłyby