

Wielkie zmiany ekosystemu globalnego

Antoni HOFFMAN

Metodologiczną podstawą nowoczesnej geologii jest reguła aktualizmu, którą streszcza hasło sformułowane pod koniec XIX wieku przez Jamesa Huttona: „Teraźniejszość jest kluczem do przeszłości”. To znaczy, że rekonstrukcji przeszłości geologicznej, tj. dawnych i najdawniejszych dziejów naszej planety, dokonać można tylko w oparciu o znajomość i zrozumienie procesów zachodzących współcześnie. I to na wszystkich poziomach – od drobnoskalowych procesów powierzchniowych (takich jak erozja koryta rzeki czy powstawanie wydmy piaszczystych) do interakcji podstawowych składników ekosystemu globalnego (tj. litosfery, oceanu, atmosfery i biosfery).

Bardzo często wyciąga się stąd wniosek, że ekosystem globalny zawsze – a przynajmniej od czasu, kiedy biosfera osiągnęła już takie rozmiary że stała się w tym systemie elementem istotnym – działa i wygląda w zasadzie tak samo.

Tak nie jest – w bardzo wielu przypadkach geologia może to już dzisiaj wykazać. Do najbardziej spektakularnych przykładów należą wydarzenia na przełomie ery paleozoicznej i mezozoicznej, tj. około 250 milionów lat temu. Miało wówczas miejsce najdramatyczniejsze w dziejach Ziemi i biosfery wielkie wymieranie gatunków. Szacuje się, że wymarło wtedy – w przeciągu zapewne nie więcej niż miliona lat – 80–95% wszystkich gatunków zwierząt morskich. Równocześnie zaś nastąpiła zasadnicza zmiana oceanograficzna. Widać to bardzo wyraźnie w zapisie składu izotopowego dwutlenku węgla rozpuszczonego w wodzie morskiej.

Pierwiastek węgiel występuje w przyrodzie w dwóch stabilnych (niepromieniotwórczych) odmianach izotopowych. Otóż na przełomie ery paleozoicznej i mezozoicznej proporcje tych dwóch izotopów w oceanie drastycznie się zmieniły w sposób, który dowodzi, że miało wówczas miejsce utlenienie wielkich mas węgla organicznego i rozpuszczenie powstałego w efekcie dwutlenku węgla w oceanie. Co więcej, można obliczyć, jak dużo materii organicznej zostało wtedy utlenione. Okazuje się, że masa owej materii organicznej niemal o dwa rzędy wielkości przekracza masę całej współczesnej biosfery. A utlenienie jej nastąpiło bardzo szybko – w przeciągu dziesiątków tysięcy (a nie setek tysięcy czy milionów) lat.

Skąd wzięło się tak dużo materii organicznej podatnej na szybkie utlenianie? Z rozmaitych powodów najbardziej prawdopodobne wydaje się, że z dna oceanu. Tym bardziej że analogiczny proces (choć może powolniejszy) miał też miejsce na przełomie ery proterozoicznej i paleozoicznej, niemal 600 milionów lat temu, gdy życia na lądzie jeszcze nie było i materia organiczna po prostu musiała pochodzić z oceanu.

W takim jednak razie ocean musiał wówczas wyglądać zupełnie inaczej niż współcześnie. W dzisiejszym bowiem oceanie nie może się nagromadzić tyle materii organicznej. Z wyjątkiem niewielkich lokalnych basenów (takich jak na przykład Morze Czarne czy najgłębsze rowy oceaniczne) prądy głębinowe wszędzie doprowadzają tlen. Jeśli zatem pod koniec ery paleozoicznej, a wcześniej pod koniec ery proterozoicznej, w oceanie nagromadziły się (i nie utleniły się) wielkie masy materii organicznej, to nie mogły wówczas działać takie prądy.

Wbrew pozorom jest to różnica o kolosalnych wręcz konsekwencjach. Ocean pozbawiony prądów głębinowych to ocean żyzniejszy, bo pozwalający na powrót kluczowych dla fitoplanktonu pierwiastków – azotu i fosforu – do obiegu. To zatem ocean, w którym biosfera znajduje o wiele lepsze warunki do rozwoju. I to cała biosfera – zarówno organizmy żyjące w warunkach utleniających (tj. producenci materii organicznej

Ziemia – żywa planeta.

Władysław J. H.

Kunicki-Goldfinger

Nazywanie Ziemi żywą planetą jest chyba w pełni słuszne. Żywe organizmy pojawiły się na Ziemi pewno ponad 3,8 miliarda lat temu. Ponieważ wiek Ziemi szacuje się na około 4,6 miliarda lat, zatem przez ponad 4/5 czasu jej trwania była ona zamieszkała przez żywe istoty. Pierwsze organizmy zasiedlające Ziemię były istotami bakteriopodobnymi, jak świadczą o tym ich zidentyfikowane skamieliny. Wszystko wskazuje na to, że bakterie były jedynymi mieszkańcami Ziemi przez około 2 miliardy lat. Dopiero potem pojawiły się jednokomórkowe organizmy bardziej skomplikowane, jak glony, pierwotniaki, grzyby. A zaledwie od około miliarda lat żyją na Ziemi tkankowce.

Choć blisko połowa okresu trwania życia przypada na rozwój świata bakteryjnego, ówczesna biosfera była w pełni sprawnym systemem. Przypuszczalnie bardzo wcześnie pojawiły się wśród bakterii autotrofy, zdolne do odżywiania się dwutlenkiem węgla i solami mineralnymi. Wykorzystywały przy tym energię pochodzącą z utleniania wodoru lub związków siarki, azotu, żelaza, a również energię promienistą Słońca. Przeszło 2 miliardy lat temu bakterie, zapewne podobne do dziś żyjących sinic, uzyskały zdolność do takiej fotosyntezy, jaką spotykamy teraz u roślin: redukcji dwutlenku węgla na związek organiczny (cukier) za pomocą zielonego barwnika, chlorofilu. Chlorofil, ulegając przy tym utlenieniu, jest ponownie redukowany, przy wykorzystaniu jako reduktora wody, w którym to procesie uwalnia się tlen cząsteczkowy. Musimy pamiętać, że uprzednio atmosfera mogła zawierać jedynie ślady tlenu. Był on wtedy tworzony wyłącznie w trakcie fotolizy wody przez promienie ultrafioletowe. Tak powstający tlen był natychmiast zużywany na utlenianie zredukowanych składników skał magmowych, a jeśli stężenie jego tylko nieco wzrosło (do około 1/1000 obecnego stężenia), powstawała wokół Ziemi warstwa ozonu, wstrzymująca dopływ promieniowania ultrafioletowego,

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 ρ gęstość jej warstw powierzchniowych, to

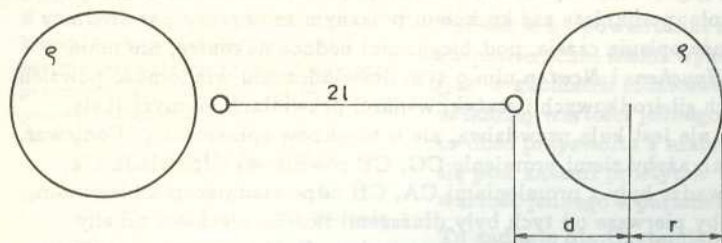
$$g' \approx G \frac{4\pi R^3 \bar{\rho} - 4\pi R^2 h \rho}{(R - h)^2} \approx \frac{4}{3} \pi G R \bar{\rho} \left(1 - 3 \frac{h \rho}{R \bar{\rho}} + 2 \frac{h}{R} \right),$$

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 ρ) 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

O spłaszczeniu Ziemi

– tekst oryginalny z 1797 r.

Obracanie się ziemi około osi dowiedzionym zostało; wątpliwości zaś jej podpadła kulistość. Ztąd bowiem, że się ziemia obraca wypada, że różne jej części środkochybney nabywają siły, która nie w całej jej rozległości jest równa; gdyż części pod równikiem będące wielkie we 24 godzinach opisują koło; pomknięte zaś ku kołom polarnym mniejszy one średnicy w jednymże opisują czasie, pod biegunami będące nakoniec, nie mają obrotu. *Huyghens* i *Newton* nim o tym doświadczeniu wiadomość powzieli, na samych sił środkowych i statyki wsparci prawidłach, domyślali się, że ziemia nie jest kulą prawdziwą, ale u biegunów spłaszczoną. Ponieważ, mówili oni, ażeby ziemi promienie CG, CP równikowi odpowiadające, w równowadze były z promieniami CA, CB odpowiadającemu biegunom, trzeba żeby pierwsze od tych były dłuższemi ilością, ciężkości od siły środkochybney zmniejszeniu proporcjonalną. Ilość tę nawet nazaczyli za pomocą rachunkow. Według *Huyghensa*, średnica równika jest do osi ziemi jak 578 do 577. Według *Newtona* zaś, jak 230 do 229; nie wielka w tym jak widać zachodzi różnica. Teorya od tych dwóch wielkich ludzi podana, przez Akademikow o któryacheśmy wspomnieli sprawdzoną została; jedni z nich w Peru, drudzy zaś na północy, brali miarę jednego stopnia południka w odmiennych strefach, końcem upewnienia się czyli ziemia jest kulistą lub nie. W dziełach ich opisane są tych robot szczeguły, których tu tylko wypadki kładniemy. Promień południka ziemi równa się 3,281,013 sążni, jej zaś osi półowa 3,265,752½ sążni; różnica 15,260½ sążni jest miarą spłaszczenia ziemi u biegunow. Ta na całej osi różnica wynosi 13 mil Francuzkich po 2,283 sążnie mających, więcej 842 sążniami; zkad wypada, że średnica równika większa jest od osi ziemskiej 13 milami i ⅓ blisko; stosunek więc średnicy równika do osi, jest jak 215 do 214, do którego *Newtonowski* bardzo się przybliża.

M. J. BRISSON, *Początki fizyki w tłumaczeniu W. Choynickiego*, Wilno 1800

Stosunek promienia równikowego do promienia biegunowego Ziemi wynosi według danych współczesnych 1,00336.



Dzisiejsze pomiary wskazują, że niezłym modelem Ziemi jest elipsoida obrotowa o półosiach $a = 6378$ km, $b = 6357$ km. Spłaszczenie Ziemi ($\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{297}$) jest, oczywiście, skutkiem jej wirowania, a wobec tego np. ciężenie w różnych szerokościach geograficznych musi być różne i to z dwóch powodów: w zależności od szerokości geograficznej zmienia się sama odległość obserwatora od środka (od ciężkiego jądra) Ziemi oraz odległość od jej osi obrotu (a więc wartość przyspieszenia odśrodkowego). Wektor wypadkowego przyspieszenia jest, oczywiście, prostopadły w każdym punkcie do elipsoidy (elipsoida jest powierzchnią ekwipotencjalną), ale nie jest – na ogół – skierowany ku środkowi Ziemi. Dlatego wyróżnia się dwa rodzaje szerokości geograficznej: astronomiczną ϕ określoną jako kąt między płaszczyzną równika a pionem, oraz geocentryczną ϕ' , czyli kąt między płaszczyzną równika a promieniem wodzącym poprowadzonym ze środka Ziemi. W przybliżeniu zachodzi

$$\phi - \phi' = \alpha \sin 2\phi = 696'' \sin 2\phi.$$

Sam promień wodzący wynosi w przybliżeniu

$$r = a(1 - \alpha \sin^2 \phi),$$

a wypadkowe przyspieszenie grawitacyjne

$$g = 978,05 + 5,17 \sin^2 \phi \text{ [cm/s}^2\text{]}.$$

Takie zmiany grawitacji są mierzalne nawet niezbyt wyrafinowanymi metodami, aczkolwiek – jak widać – są małe w porównaniu z samą wartością przyspieszenia. Całe szczęście!

T.K.

stałe na szkodliwe działanie różnego rodzaju promieniowania, a czas ich przeżycia musiałby być ograniczony. Nawet wędrówka w naszej Galaktyce, której średnica przekracza 100 000 lat świetlnych, trwałaby miliony lat. Prawdopodobieństwo przywędrowania życia spoza naszej Galaktyki spada niemal do zera. Ponieważ wiek Galaktyki jest tylko nieznacznie większy niż wiek Ziemi, prawdopodobieństwo powstania życia w naszej Galaktyce i przywędrowania na Ziemię wydaje się mniejsze niż prawdopodobieństwo powstania życia tutaj.

Powstanie życia jest ponadto zależne od zaistnienia dość specjalnych warunków. Życie może powstać, z uwagi na warunki fizyczne, jedynie na planecie, a nie na gwiazdzie. Dotychczas nie opisano innych systemów planetarnych poza naszym Układem Słonecznym. Wśród setek miliardów gwiazd naszej Galaktyki możemy się spodziewać jakiejś liczby układów planetarnych. Ale warunki zapewniające możliwość powstania życia mogłyby istnieć jedynie w części tych układów o bardzo wyjątkowych cechach. Układ, w którym mogłoby powstać życie, musiałby być dostatecznie długotrwały, bo ewolucja życia trwa miliardy lat. Inaczej mówiąc, gwiazda tworząca taki układ musiałaby być mniej więcej wielkości Słońca. Gwiazdy większe trwają zbyt krótko, gwiazdy mniejsze nie byłyby zdolne do rozpalenia w swoim wnętrzu paleniska jądrowego, nie mogłyby zatem planecie dostarczyć dostatecznej ilości ciepła. W owym układzie planeta, na której mogłoby powstać życie, nie mogłaby być zbyt daleko od gwiazdy, bo byłaby zbyt zimna, ani zbyt blisko – bo byłaby zbyt gorąca. Musiałaby być planetą skalną, zdolną do utrzymania na swojej powierzchni wody i atmosfery.

Uwzględniając te wszystkie okoliczności prawdopodobieństwo powstania życia tu, na Ziemi, wydaje się większe niż prawdopodobieństwo powstania go gdzieś w Galaktyce, a następnie przywędrowania tutaj.

Przypuszczalnie zatem życie powstało na Ziemi, z pewnością rozwija się i ewoluuje tu od prawie 4 miliardów lat. Ziemia jest więc naprawdę planetą życia. Nie wiemy wprawdzie, czy jest ona jedyną planetą życia w naszej Galaktyce, a tym bardziej w całym Wszechświecie, i nie jest pewne, czy się tego kiedyś dowiemy. Wiemy jednak, że Ziemia jest naszą planetą życia i że na niej ewolucja zrodziła nasz gatunek. Szanujmy więc życie i jego warunki, bo są to też warunki naszego przeżycia.