

zadaliśmy pytanie:

## Czy Ziemia jest stara, czy młoda?

Oto, co nam odpowiedział.

Dopiero w wieku XVIII odkryto, że przeszłość Ziemi, jej geneza i jej wiek są problemami naukowymi. Poglądy na temat wieku Ziemi ulegały ciągłej ewolucji. W średniowieczu, a nawet jeszcze w wieku XVIII nauka światowa uważała, że wiek Ziemi jest zgodny z danymi zawartymi w Biblii. Pierwszą naukową teorię dyluwalizmu, czyli wielkiego potopu, opracował angielski uczyony James Woodworth na przełomie XVII i XVIII wieku. Wyszedł on oczywiście z założeń biblijnych, ale nasycił je obserwacjami ściśle naukowymi. Zdawał sobie przy tym sprawę z tego, jak trudno jest podporządkować teorię dyluwalizmu ramom czasowym Biblii. Uczyony następnego pokolenia Louis de Buffon wyrażał pogląd, że wiek Ziemi nie może wynosić mniej niż 70 tys. lat. W owych czasach była to hipoteza bardzo zdumiewająca. Jednak już wtedy niektórzy uczeni zdawali sobie sprawę z tego, że nawet 70 tys. lat jest czasem zbyt krótkim, aby mogły w nim zajść wszystkie zdarzenia przyrodnicze, w tym także geologiczne, wynikające z nagromadzonych faktów eksperymentalnych. By mimo to nie wyjść poza ramy czasu biblijnego uczyony francuski G. Cuvier zaproponował tłumaczenie przeszłości okresami przyspieszonego rozwoju — biologicznymi i geologicznymi katastrofami, które odbywając się w niewielkich przedziałach czasu mieściły bardzo wiele zdarzeń. Współczesny mu Anglik James Hutton skrytykował teorię Cuviera i wyraził przekonanie, że wiek Ziemi trzeba obliczać bez uciekania się do zdarzeń katastrofalnych. Według Huttona „Ziemia żyje i rozwija się zgodnie z normalnymi prawami fizyki i mechaniki”; „Procesy geologiczne są ze sobą związane i przechodzą jedne w drugie w określonym porządku”. Uważał on, że na Ziemi niegdyś działały te same siły, co i współcześnie. Na tej podstawie Hutton nie tylko stwierdził, że Ziemia jest starsza niż to głosiła ówczesna nauka i kościół, ale także, iż Ziemia nie rozpoczęła swojego rozwoju od biblijnego potopu, i że powstała o wiele lat wcześniej.

W XIX wieku geolodzy zaczęli obserwować i stwierdzać fakty geologiczne zapisane w poszczególnych warstwach skalnych oraz stawiać pytanie: jaki czas jest potrzebny, aby np. mogła się osadzić ławica piaszkowca o grubości 1 m. Zaczęto eksperymentalnie określać czas konieczny do utworzenia się obserwowanej pokrywy osadowej. Uczyony szwedzki de Geer licząc w tzw. ilach warwowych z epoki lodowcowej powtarzające się na przemian warstewki jasne i ciemne, będące wynikiem sedymentacji okresu letniego i zimowego, ocenił czas trwania jednego tylko epizodu międzylodowcowego na 14 tysięcy lat. Stało się to bodźcem do rozwinięcia badań sedymentologicznych, które pozwoliły wyznaczyć czas potrzebny do powstania całej pokrywy osadowej — skał piaszkowcowych, iłowcowych, wapiennych i dolomitycznych. Tą metodą geolodzy doszli do przekonania, że wiek Ziemi trzeba liczyć na wileset tysięcy lat. Lord Kelvin na podstawie badań geochemicznych obliczył, że od powstania Ziemi nie mogło upłynąć mniej niż 20—400 mln lat. W XX wieku B. Boltwood wykorzystując prawo rozpadu pierwiastków promieniotwórczych stworzył metodę oznaczania wieku bezwzględnych skał. Okazało się, że od chwili uformowania się skał magmowych (krystalicznych) i pierwszych skał osadowych minęło nie mniej niż 1,5 mld lat. Dzisiaj wiemy,

że Ziemia jako planeta ma około 4,5 mld lat, przy czym wiek ten nie uwzględnia astronomicznego etapu jej rozwoju, tj. okresu, w którym z rozproszonej materii zaczęły się tworzyć skupiska minerałów.

Aby wyznaczyć wiek Ziemi, musimy wiedzieć, w jaki sposób powstała. Od XVIII wieku wysunięto wiele hipotez kosmogonicznych. Próbowano one tłumaczyć powstanie planet rozpadem mgławicy (E. Kant, P. S. Laplace) lub słońce, wpływem innej gwiazdy lub supernowej i wreszcie koncentracją materii międzygwiazdnej, gazowej lub stałej.

W teoriach powstania Ziemi i innych planet z materii stałej w wyniku zlepiania się stałych chłodnych cząstek przyjmowano jej późniejsze stopienie np. pod wpływem ciepła pochodzącego z rozpadu pierwiastków promieniotwórczych. Założenie to było konieczne dla wyjaśnienia istnienia we wnętrzu Ziemi stref o różnej gęstości i budowie. W większości teorii przyjmowano jednak, że Ziemia powstała z gazów i par o bardzo wysokiej temperaturze. Jednocześnie z procesem ochładzania cięższe pierwiastki gromadziłyby się w środku, a lżejsze w partiach zewnętrznych planety (dyferencjacja). W trakcie dalszego stygnięcia pierwiastki mogły się ze sobą łączyć, a pary pierwiastków skraplać. Po jakimś czasie Ziemia byłaby ciekłą kulą otoczoną gazową powłoką składającą się pierwotnie z wodoru, helu, pary wodnej, dwutlenku węgla, azotu i chloru. Gdy temperatura tych gazów była wyższa od 1000°C, mogły one rozpuszczać krzem i glin. Później, przy 500°C niektóre substancje ciekłe i rozpuszczone zaczęły krzepnąć. Przełomowym momentem było obniżenie się temperatury do 374°C (temperatura krytyczna wody). Znaczna część pary wodnej uległa wtedy skropleniu i opadła na Ziemię.

W takim ujęciu możliwe jest, by wewnątrz Ziemi pozostawało przez pewien czas ciekłe lub nawet gazowe.

We wszystkich wymienionych hipotezach jest ogromna luka pomiędzy stadium pregeologicznym rozwoju Ziemi i stadium geologicznym. Współczesne hipotezy dotyczące powstania i wieku Ziemi są właściwie wolne od tej wady. Za podstawę mają one coraz doskonalsze oznaczenia wieku bezwzględnego najstarszych skał oraz astrofizyczne teorie ewolucji gwiazd typu Słońca.

W latach pięćdziesiątych astrofizycy dowiedli, że Ziemia i meteoryty powstały w niskich temperaturach z mgławicy pyłowej otaczającej niegdyś Słońce. Porównanie ziemskiego i kosmicznego stopnia rozprzestrzenienia gazów szlachetnych, takich jak neon, argon, krypton i ksenon oraz gazów aktywnych, takich jak para wodna, dwutlenek węgla, azot i tlen, wykazało, że na Ziemi więcej jest gazów aktywnych i mniej gazów szlachetnych niż w Kosmosie. Ponieważ jednak wymienione gazy mają podobne ciężary cząsteczkowe, to nie jest możliwe ich rozdzielenie w polu grawitacyjnym tak, by gazy szlachetne znalazły się na zewnątrz formującej się planety.

W stałych cząstkach materii gazy aktywne mogły się natomiast chemicznie utrzymywać aż do momentu, gdy gęstość i temperatura wzrosły tak, że ich dalsze chemiczne związanie przestało być możliwe. Woda na przykład mogła być związana w minerałach uwodnionych. Ogranicza to automatycznie temperaturę powstania i akumulacji stałych cząstek do takiej, w której minerały uwodnione są trwałe. Temperatury w czasie powstania Ziemi nie mogły być też zbyt niskie. W bardzo niskich temperaturach gazy szlachetne kondensowałyby się lub byłyby adsorbowane na stałych cząstkach i ich obecna ilość na Ziemi byłaby większa niż obserwowana. Tak więc trzeba przyjąć, że temperatury, w których powstały cząstki, były zbliżone do temperatur w partiach powierzchniowych i przypowierzchniowych Ziemi.

Próbując wyjaśnić mechanizm powstawania czterech planet wewnętrznych O. Schmidt i H. Urey przyjęli, że zagęszczanie się materii w mgławicy, z której powstało Słońce i planety,

doprowadziło do utworzenia dużej ilości nieregularnych skupisk materii, przede wszystkim w postaci nitek, włókien i cienkich płytek. Ich własności musiały być podobne do tych, które mają znane nam włoskowate minerały charakteryzujące się dużą sprężystością i wytrzymałością. A zatem cechy fizyczne stałych cząstek ułatwiały ich zaczepianie się i związywanie przy bezładnych zderzeniach. Powstające większe bryły były porowate i stanowiły doskonałą masę łowiącą uderzające w nią inne cząstki.

Skład akumulujących się stałych cząstek zależał głównie od temperatury pierwotnej mgławicy otaczającej Słońce. Wiadomo, że wewnątrz mgławicy przy stosunkowo niskiej temperaturze nietlone cząstki stałe zawierają tlenek krzemu, krzemiany żelaza, krzemiany magnezu, siarczki żelaza, tlenki żelaza i innych metali. Ponadto cząstki te zawierają parę wodną, amoniak i wodorotlenek amonu. Jest bardzo prawdopodobne, że pierwotne ziarna masy Ziemi miały taki właśnie skład. Temperatura narastającej masy była zasadniczym czynnikiem determinującym budowę Ziemi. Jednorodna mieszanina chłodnych cząstek musiała na pewnym etapie rozwoju Ziemi ulec stopieniu, aby nastąpił proces dyferencjacji i aby wydzieliło się jądro Ziemi.

Nagrzewanie mogło być uzależnione od przekształcania energii potencjalnej i kinetycznej cząstek w ciepło. Początkowo proces ten był mało efektywny z powodu niewielkiej masy i małych prędkości cząstek. Z biegiem czasu, w miarę zwiększania się rozmiarów Ziemi zyskiwał on coraz większe znaczenie i mógł w pewnym stadium doprowadzić do wysokiej temperatury na jej powierzchni.

Inny możliwy mechanizm nagrzewania to wyswobodzenie się energii chemicznej akumulowanych cząsteczek w reakcjach egzotermicznych. W mgławicy niskotemperaturowej czynnik ten mógł grać dużą rolę tylko w początkowym stadium akumulacji. Nagrzewanie Ziemi mogło być też uzależnione od pracy wykonanej przy zagęszczaniu się i zderzaniu luźnego materiału. Obliczenia wykazują jednak, że czynnik ten nie mógł dać temperatury wyższej niż 1200 °C.

I wreszcie czwarta możliwość to rozpad radioaktywny.

W początkowym etapie nie mógł mieć on istotnego wpływu na temperaturę Ziemi ze względu na jej jednorodny skład. Później jednak czynnik ten stał się dominujący. Dokładna analiza wymienionych możliwych mechanizmów nagrzewania Ziemi wykazuje, że w jej wewnętrznej części nagrzewanie musiało trwać od początkowego stadium akumulacji i zmieniało z biegiem czasu swoją formę. Zewnętrzna część natomiast przez długi czas miała pierwotny skład i budowę, jednak nie dłużej niż do momentu rozpoczęcia się procesów geologicznych, kiedy to skorupa ziemska musiała być już wyraźnie zdyferencjowana. Wynika to z pomiarów wieku bezwzględnego skał.

Każda skała składa się z wielu minerałów, które powstały najczęściej w różnych okresach rozwoju Ziemi. Mówiąc o wieku bezwzględnym skały mamy na myśli albo czas, w którym powstał określony minerał, albo też średnią arytmetyczną wieku jej składników.

Około 20 lat temu w północnej Tanzanii znaleziono granity czarnokitowe o wieku 3,5 mld lat, a w dawnej Gujanie Francuskiej oznaczono migmatyty o wieku ponad 3,9 mld lat. Dane te zostały uzyskane w sposób o wiele mniej doskonały niż to robimy dzisiaj, ale, jak się okazało, niewiele różnią się od ostatnich wyników.

Najstarsze gnejsy biotytowe z Półwyspu Kolskiego liczą według ostatnich danych od 3,40 do 3,48 mld lat. W Ameryce Północnej cyrkonie granitognejsów i migmatytów z Montany wykazują wiek 3,5 mld lat. Wiek granitów z okolicy Perth w zachodniej Australii określa się na 2,7 mld lat.

Najświeższe dane pochodzą z Grenlandii. Określenie wieku bezwzględnego gnejsów amfibolowych z okolic Godthaab

dwiema niezależnymi metodami dało ten sam wynik 3,7—3,8 mld lat.

Z powyższych danych wynika wiele wniosków odnoszących się do etapu geologicznego rozwoju Ziemi. Procesy powodujące wykształcenie się wielkich pni granitoidowych w Południowej Rodezji i na Półwyspie Kolskim miały miejsce nie później niż 3,5 mld lat temu. Skały granitoidowe są przekształconymi pod wpływem dużego ciśnienia i temperatury (metamorfizm) skałami osadowymi. Zatem najstarszy cykl geosynklynalny, czyli proces obniżania się skorupy ziemskiej w pewnej strefie i gromadzenia ogromnych ilości osadów powstałych ze zwietrzenia skał krystalicznych, które następnie ulegają częściowemu metamorfizmowi, miał miejsce około 3,5 mld lat temu. Oznacza to istnienie w tym czasie zbiornika geosynklyny z już nagromadzonymi osadami podlegającymi metamorfizmowi. Trzeba więc przyjąć, że początek pierwszego cyklu geosynklynalnego, w wyniku którego powstał zbiornik, nastąpił co najmniej 4 mld lat temu.

Jeżeli pierwsze zbiorniki geosynklynalne na Ziemi były podobne do dobrze zbadanych zbiorników z ery paleozoicznej, to możliwe jest, że pojawiły się one już 4,5 mld lat temu. Do tego czasu musiała nastąpić dyferencjacja materii ziemskiej, więc nie jest to zapewne zawyżona ocena wieku Ziemi.

Z tego, że Ziemia istnieje tak długo, niektórzy wyciągają wnioski, iż zamarła ona w swoim rozwoju. Zwróćmy jednak uwagę na czynny stale wulkanizm i częste trzęsienia Ziemi, w których wyzwala się ogromne ilości energii. Zjawiska te są dowodem na to, że wewnątrz Ziemi ciągle jeszcze żyje i że trwa cykliczny proces przebudowy jej powierzchni. Przypomnijmy wielki spór o Atlantyde. Fakty na temat Atlantydy podane w przekazie Platona uważam za bardzo wiarygodne, ale nie znaleziono dotychczas jej śladów. Wobec tego albo nasza interpretacja jest nieprawidłowa, albo, co jest dopuszczalne z punktu widzenia geologii, katastrofa była tak totalna, że z Atlantydy rzeczywiście nic nie zostało.

Tego rodzaju katastrofy, choć w mniejszej skali, zdarzają się również współcześnie. Przecież katastrofalne trzęsienia w Portugalii i Chinach czy też niedawno w Chile przebudowały tam wręcz powierzchnię Ziemi, zniszczyły jeziora, zmieniły bieg rzek, depresje zostały podniesione, nieraz bardzo wysoko, a partie gór uległy obniżeniu.

W przeszłości miały miejsce jeszcze potężniejsze kataklizmy związane z powstawaniem łańcuchów górskich. Obecny etap rozwoju Ziemi jest etapem spokojnym. Za pewien czas, nawet niezbyt długi w geologicznej skali czasu, dojdzie z pewnością do intensywnego rozwoju jednego z łańcuchów górskich. Góry nie tworzą się bowiem jednorazowo, tylko etapami o różnym nasileniu. Gwałtowne zmiany rozdzielone są okresami spokoju i niszczenia tego, co zostało stworzone. Te zniszczone struktury czasami znowu ulegają zapadnięciu, a na nich gromadzą się osady, które następnie zostają sfaldowane i wypiętrzone. Jest to źródłem obserwowanych w górach tzw. niezgodności strukturalnych.

Ruchom górotwórczym towarzyszy wulkanizm i wybijanie się z głębi Ziemi wielkich pni magmowych. Tak powstał np. Mount Blanc. Wielkie obszary kontynentów mogą znaleźć się pod wodą, a dno morskie może zostać wydzwignięte ponad powierzchnię wody. Obszar Anglii był niegdyś połączony z Francją, Belgią i Holandią. Pradolina Tamizy i pradolina Renu to obecnie dokładnie zbadany sondami podmorski kanion. Rzeki te leżały w morfologicznej depresji, która na skutek gwałtownych ruchów skorupy ziemskiej uległa dalszemu obniżeniu.

Wszystkie te zjawiska zachodzą oczywiście w geologicznej skali czasu. Geologiczna sekunda to dziesiątki tysięcy lat. Okres między fałdowaniami, w którym żyjemy, trwa od ostatniego fałdowania alpejskiego, czyli zaledwie kilka minut i również kilka minut dzieli nas od następnego okresu intensywnych ruchów górotwórczych.