

Koniec świata i wielkie katastrofy w historii Ziemi

20 października 2017

Zastanówmy się, co właściwie można rozumieć pod pojęciem „koniec świata”, czy taki „koniec” jest możliwy, a także czy podobne „końce” miały już miejsce w przeszłości.

CZYM BYŁBY KONIEC ŚWIATA?

Tak naprawdę nie wiadomo, co dokładnie oznacza słowo „świat”, a bez sprecyzowania znaczenia tego określenia trudno byłoby snuć rozważania o mającym nastąpić końcu. Na pytanie, czym jest świat, różni ludzie udzieliliby zapewne rozmaitych odpowiedzi. Można więc dojść do wniosku, że świat to pojęcie relatywne i subiektywne, gdyż każdy z nas gdzie indziej widzi jego granice.

Niektórzy, w tym nawet ludzie mieszkający w naszym otoczeniu, traktują jako swój świat tylko miejsce, w którym żyją, ewentualnie także miejsca, do których mogą dotrzeć. A że są na ogół mało mobilni, ich świat ogranicza się w praktyce do wsi, w której mieszkają, czasem obejmując także pobliskie miasto, do którego od czasu do czasu zdarza im się wybrać na targ. Takie podejście nie jest wcale obce milionom innych ludzi, żyjących z dala od „cywilizacji białego człowieka”. Dla nich świat kończy się na brzegu rodzimej wyspy lub na brzegu rzeki, której nigdy nie przekroczyli (bo nie mieli ani nie widzieli takiej potrzeby). Dla Europejczyków jeszcze całkiem do niedawna świat kończył się na brzegu Atlantyku, co i tak było wyrazem naprawdę szerokiego spojrzenia, i właśnie dlatego Amerykę do dziś nazywa się Nowym Światem. A dla niegdysiejszych warszawiaków świat był widać o wiele mniejszy, skoro nowym światem było już tylko przedłużenie znanego im jako tako przedmieścia (zwanego krakowskim). Ich świat sięgał więc jedynie tak daleko, jak najbliższe otoczenie ich

miejscowości. Zdecydowanie nie o końcu takiego świata chcemy tu pisać, choć musimy pamiętać, że na przykład zalanie wysp archipelagu Kiribati w wyniku podnoszenia się poziomu wszechoceanu, co jest z kolei rezultatem przybierającego na sile efektu cieplarnianego, będzie dla ich mieszkańców równoznaczne z końcem świata, a przynajmniej z końcem świata, jaki znają.

Podróżnicy, odkrywcy, ludzie odcytani i wykształceni, zawsze wyznaczali granice świata o wiele dalej niż żyjący tylko codziennymi sprawami tubylcy, których nie za bardzo interesowało, co znajduje się za sąsiednią górą, rzeką czy poza przedmieściami ich osady. Dziś każdy, kto naprawdę przejął się wiedzą oferowaną mu przez szkołę (podstawową...), wie, że świat nie kończy się nie tylko na wybrzeżach naszego kontynentu, ale nawet że sięga znacznie dalej, poza Ziemię. Częścią świata dla takich nietuzinkowych jednostek są też Księżyc, planety i Słońce, a nawet gwiazdy, w tym takie, które nie leżą w Drodze Mlecznej zwanej z grecka Galaktyką (w języku tym gála znaczy „mleko”). Aby odróżnić swój świat od świata mniej interesującego się nauką sąsiada, nazywają go często wszechświatem. Ale też ludzie tacy często wiedzą, że skoro wszechświatem jest wszystko, co można dostrzec na niebie (a także i na ziemi...), to trudno byłoby spodziewać się, że nagle całą tę niezmierzoną przestrzeń ogarnie jakaś uniwersalna (bo przecież nie globalna!) katastrofa, a co dopiero że nagle nastąpi jej kres. Jeśli nawet tak nowocześnie postrzegany świat (tudzież wszechświat) kiedyś zakończy swoje istnienie, to stanie się to nie dziś, nie za rok ani nawet nie za milion lat, i będzie to raczej proces, i to rozciągnięty w czasie w sposób, którego nie da się właściwie objąć wyobraźnią, niż pojedyncze zdarzenie, trwające minuty, dni czy najwyżej miesiące. Gwałtowny, katastroficzny koniec tak rozumianego świata uznajmy więc za koncepcję niedorzeczną, absurdalną i w najwyższym stopniu niezgodną z naszą wiedzą, i wykreślmy z listy tematów, którymi będziemy się tu zajmować.

Prawdopodobnie najwięcej mieszkańców Polski czy Europy utożsamia świat z naszą planetą. Taki sposób rozumienia wynieśliśmy ze szkoły, ale też takie właśnie wyobrażenie zostało ukształtowane w przeszłości poprzez oddziaływanie (różnych) religii, a dziś jest wzmacniane przekazem pochodzącym z katastroficznego kina science fiction (często miernej jakości). Oto na nasze głowy spada potężnych rozmiarów meteoryt. Taka wizja przypomina chyba najbardziej biblijną, w której mowa o tym, że w dniach ostatnich na ziemię będą spadać gwiazdy. W innych znów filmach zatrzymuje się jądro naszej planety, zanika jej pole magnetyczne, wybucha megawulkan, podnosi się poziom wody w oceanach ponad wszelkie wyobrażalne normy, pojawiają się anomalie pogodowe prowadzące do wystąpienia bądź to skrajnych upałów, bądź też przeciwnie, niespotykanych dotąd mrozów. Bywa wreszcie i tak, że przybywają do nas kosmiczni bracia w rozumie, wszak z niezbyt braterskim przesłaniem. Oto bowiem zamiast podzielić się z nami swoją olbrzymią wiedzą i umiejętnościami pozwalającymi im na pokonywanie astronomicznych odległości, podstępni kosmici dokonują na nas agresji, albo z powodu wojowniczej natury, albo też po to, by naszym kosztem przedłużyć istnienie własnego ginącego świata. W każdym z tych scenariuszy w najbardziej nieodpowiednim momencie wydarza się coś niesłychanie złowróżbnego, coś, co wywołując lawinę kolejnych katastroficznych wydarzeń, przyczynia się do zagłady milionów istnień ludzkich i do zniszczenia osiągnięć cywilizacji.

Wizja świata jako planety, którą zamieszkujemy, tak naprawdę wywodzi się jeszcze z tej zamierzchłej epoki, gdy ówcześni wykształceni ludzie wyobrażali sobie, że to właśnie nasza planeta stanowi ośrodek wszechrzeczy, nad którym krążą ciała niebieskie (stworzone tylko po to, by uprzyjemniać człowiekowi życie). Na granicy świata znajduje się firmament, czyli sfera gwiazd stałych (firmus po łacinie oznacza właśnie „stały”), które są do owego tajemniczego firmamentu zapewne czymś przylepione, skoro na ogół się od niego nie odrywają i co najwyżej krążą wraz z nim wokół bieguna, wyznaczonego przez

gwiazdę biegunową czyli polarną (łacińskie słowo polus, pochodzące z kolei z języka greckiego, znaczy „biegun”, „oś obrotu”). Czasem jedynie jedna z takich gwiazd traci przyczepność i zlatuje nam na głowę. A poza rzeczonym firmamentem jest już „tamten świat”, gdzie przebywają dusze zmarłych i różne nadnaturalne istoty.

Ów zdawałoby się dziś już odrzucony, a może wręcz zapomniany model świata w rzeczywistości ma się całkiem dobrze. Przecież mimo nauki wyniesionej ze szkoły i mimo wieluset lat, które minęły od przełomu kopernikańskiego, wielu z nas wciąż jest przekonanych, że gwiazdy mogą spadać na ziemię, i że taki właśnie masowy upadek będzie jednym z elementów końca świata. Za takie wyobrażenia winę ponosi zła tradycja podsycana przez religię, którą przecież nie bez powodu nasz słynny noblista Czesław Miłosz przyrównywał do ciemnogrodu. Szkoła stara się uczyć, że to, co czasem rzeczywiście spada na Ziemię, to nie gwiazdy, ale kawałki skał zwane ogólnie meteoroidami. Wśród nich wyróżnia się meteory, które spalają się całkowicie, zanim do nas doleczą, oraz meteoryty, których rozmiary są na tyle duże, że nie dopuszczają do ich całkowitego unicestwienia przed osiągnięciem powierzchni planety. Gwiazdy za to, w przeciwieństwie do meteoroidów, nie są rozżarzonymi skałami, ale kulami plazmy, a poza tym są znacznie większe nie tylko od wszelkich meteoroidów, ale także od całej Ziemi, a często nawet od Słońca. To, że wydają się tak małe, gdy na nie patrzymy, wynika tylko z kosmicznych odległości, które nas od nich dzielą. Jeśli nawet rzeczywiście będą kiedykolwiek mieć miejsce zdarzenia choćby tylko podobne do opisanych w Biblii, to na głowy ludzi na pewno nie spadną gwiazdy, bo jest to po prostu niemożliwe. Teoretycznie to co najwyżej Ziemia mogłaby spaść na jakąś gwiazdę: różnica mas obu ciał niebieskich byłaby bowiem tak wielka, że na gwieździe upadek Ziemi nie zrobiłby niemal żadnego wrażenia (to znaczy nie przyczyniłby się niemal w ogóle do zmiany jej trajektorii).

Z tego, co dotąd wyjaśniliśmy, wynika, że choć „świat” to

pojęcie różnie rozumiane, to jednak dziś najwięcej ludzi, zwłaszcza wykształconych, zdaje się utożsamiać świat z planetą, na której wszyscy zamieszkujemy. W dalszych rozważaniach przyjmiemy więc, że koniec świata oznacza to samo, co koniec Ziemi, a przynajmniej to samo, co koniec Ziemi, jaką znamy. Koniec nie musi przy tym oznaczać totalnej destrukcji, rozbicia planety w kosmiczny pył, choć i takiego zdarzenia nie można całkowicie wykluczyć. Nie jest ono w każdym razie niemożliwe, w przeciwieństwie do unicestwienia w jednej chwili całego wszechświata.

Scenariusze końca naszego świata mogą być, jak się jeszcze okaże, najrozmaitsze, jednak wśród nich nie będzie na pewno spadania gwiazd na ziemię, ani nawet upadku Ziemi na gwiazdę – takie zdarzenie jest dopuszczalne jedynie teoretycznie, a gdyby nawet miało się zdarzyć, to chyba dopiero po miliardach lat od chwili obecnej, bo jak na razie nie widać w okolicy całych lat świetlnych żadnej kandydatki na naszą Nemezis. Między bajki musimy też włożyć opowieści o tym, jak to nagle Ziemia zatrzyma się w swoim ruchu postępowym lub obrotowym, bo byłoby to po prostu sprzeczne z prawami fizyki. Ewentualne zmiany w jądrze naszej planety musiałyby z fizykალnej konieczności zachodzić powoli, dlatego na pewno nie miałyby wymiaru katastroficznego, w przeciwieństwie do tego, co sugerują niektóre hollywoodzkie produkcje klasy C. Nie da się natomiast całkowicie wykluczyć upadku na Ziemię jakiegoś ciała niebieskiego, nawet całkiem sporej wielkości, choć ciało takie trudno naprawdę nazywać gwiazdą, nawet w przenośni, chyba że ktoś chce dać wyraz braków w elementarnym wykształceniu. Wykluczyć nie możemy też globalnego ocieplenia lub ochłodzenia (nawet jeśli w szczegółach scenariusz takiego zdarzenia różniłby się z pewnością od filmowego), zmian pola magnetycznego Ziemi (a w szczególności jej przebiegunowania), wybuchu superwulkanu, trzęsień ziemi na niewyobrażalną skalę czy poddanie naszej planety katastrofalnemu oddziaływaniu promieniowania pochodzącego z otchłani kosmosu. Nie wolno zapominać, że ludzkość jest w posiadaniu broni, która może

przynieść zagładę całej planecie, jeśli różne narody nie nauczą się żyć razem w pokoju obok siebie. Poza tym nie możemy wykluczyć wszystkich negatywnych skutków naszego głodu wiedzy, w tym doświadczeń wykonywanych przez fizyków, którzy być może w końcu wygenerują obiekt (na przykład czarną dziurę), który może zakończyć nasze istnienie. Za wiarygodne musimy też uznać niektóre inne scenariusze końca świata, w tym nawet tak zdawałoby się mało prawdopodobną wizytę wrogo nastawionych kosmitów, bo przecież zdarzenia takiego nie wykluczają prawa fizyki, a jeśli nawet wydaje się ono zupełnie nieprawdopodobne, to tylko z powodu ograniczoności naszej obecnej wiedzy o świecie. Jednym słowem, z listy kandydatów na przyczyny końca świata wykluczamy to, co na pewno nie może się wydarzyć (na przykład z powodu ograniczeń o charakterze fizycznym), pokrótce zaś przeanalizujemy to, co rzeczywiście mogłoby się wydarzyć (choćby i 21 grudnia 2012 roku...).

Zatem podsumujmy. Przyczyną końca (naszego) świata może realnie być:

- upadek asteroidy,
- zmiana klimatu (globalne ocieplenie lub ochłodzenie),
- przebiegunowanie,
- wybuch superwulkanu,
- trzęsienia ziemi o szczególnym nasileniu,
- wzrost poziomu promieniowania kosmicznego (wynikający ze zwiększonej aktywności Słońca lub rozbłysku gamma),
- wojna jądrowa,
- groźne doświadczenia fizyków,
- atak kosmitów.

W tym przeglądzie potencjalnych scenariuszy końca świata

pomocna będzie na pewno analiza zdarzeń, które trudno rozpatrywać jedynie jako możliwe, ponieważ kiedyś już miały miejsce (a przynajmniej mamy takie wrażenie). Znajomość przeszłości naszej planety jest już dziś na tyle rozwinięta, że daje nam niemałą wiedzę o tego rodzaju zagrożeniach. Skorzystajmy więc z owej wiedzy, i zanim oddamy się czczym spekulacjom odnośnie tego, co wydarzy się za parę dni, przeanalizujmy to, co (jak sądzymy) już się kiedyś wydarzyło.

POWSTANIE ZIEMI

Hipoteza katastrof, sformułowana w 1812 roku przez Georgesa Cuviera, ojca nauki o skamieniałościach, paleontologii, głosi, że w przeszłości Ziemią wstrząsały wydarzenia, których efektem było globalne wyniszczenie życia i inne drastyczne zmiany. Stworzono ją, by pogodzić obserwowaną różnorodność skamieniałości znajdujących w różnych warstwach skał z wierzeniem o stworzeniu świata przez istotę wyższą – oto Bóg miał kilkakrotnie stwarzać świat, by następnie niszczyć go i na nowo powoływać do istnienia. Według jednej z wersji hipotezy takich aktów niszczenia i powtórnego stwarzania było trzy, a wcześniej istniejące, zniszczone katastrofą światy nazwano pierwszorzędem, drugorzędem i trzeciorzędem; obecny, czwarty świat konsekwentnie otrzymał nazwę czwartorzędu.

Okazało się przede wszystkim, że podział na pierwszorzęd, gdy Ziemię zamieszkiwały wyłącznie ryby i ewentualnie płazy, drugorzęd, gdy pojawiły się na niej wielkie gady, trzeciorzęd, gdy rządziły wymarłe dziś ssaki, i czwartorzęd, wiek człowieka, jest zdecydowanie za mało precyzyjny. Dlatego właśnie w obrębie pierwszo- i drugorzędu, dziś zwanych odpowiednio paleozoikiem i mezozoikiem, da się wyróżnić mniejsze okresy, z których każdy charakteryzuje się właściwą sobie fauną, inną niż w okresach poprzedzającym i następującym. I tak, w obrębie paleozoiku (dawnego pierwszorzędu) okresów takich wyróżniono ostatecznie 6 (nazwano je kolejno: kambr, ordowik, sylur, dewon, karbon i perm), a w obrębie mezozoiku – 3 (są to: trias, jura i kreda).

Być może zatem katastrof było więcej niż pierwotnie przypuszczano. Poznano też skały, leżące poniżej warstw kambryjskich, a erę, w których powstały, nazwano – co logiczne – prekambrem. Dalsze badania spowodowały domniemanie, że i wyróżnione okresy też nie były jednorodne, i że można w ich obrębie wyróżnić mniejsze odcinki czasu – epoki, które jeszcze da się podzielić na piętra. Już uczeń Cuviera, d'Orbigny, zmuszony był założyć, że w historii naszej planety nastąpiło 27 aktów stworzenia. Dziś liczba wyróżnionych pięter jest jeszcze większa: aktualny podział dziejów Ziemi zaprezentowano w innym miejscu.

Konieczność mnożenia ponad miarę ilości aktów brutalnej ingerencji Stwórcy sprawiła, że hipotezę katastrof z czasem uznano za całkowitą spekulację wynikłą wyłącznie z rozważań religijnych i szkodzącą rozwojowi nauki. Dziś w nauce o Ziemi, zwanej geologią, istnieje podstawowa zasada aktualizmu, która w łagodnej wersji mówi, że w przeszłości na naszej planecie zachodziły takie same procesy, jakie zachodzą i dziś, a „teraźniejszość jest kluczem do przeszłości”. Interesujące jest, że w pierwszym sformułowaniu (dokonanym przez Jamesa Huttona) pochodzi ona z roku 1795, jest więc starsza od koncepcji katastrof. Ostateczną postać nadał jej jednak Charles Lyell w roku 1830. Współgra ona z zasadą gradualizmu, czyli stopniowych przemian świata istot żywych, wynikającą z teorii ewolucji biologicznej. Koncepcja zmian ewolucyjnych jest bardzo stara, ale właściwą podbudowę naukową nadał jej dopiero przyjaciel Lyella, Karol Darwin, w 1859 roku. Do podobnych wniosków w tym samym czasie doszedł niezależnie Alfred Wallace. Po wielu perypetiach biologię uwolniono w końcu od w żaden sposób niedającej się naukowo uzasadnić koncepcji kreacjonizmu, i podobnie w geologii zwyciężył aktualizm, zwany też uniformitaryzmem lub uniformitarianizmem.

Wydawałoby się, że zasada ta rzeczywiście uwalnia naukę od religijnych przesądów i tym samym kieruje ją na właściwe tory... – a jednak sprawa wcale nie jest taka prosta. Otóż nasza

planeta nie istnieje od zawsze; jak wszystko co istnieje (chciałoby się powiedzieć: na tej ziemi, ale tu akurat byłoby to niezbyt adekwatne...), ma swój początek. Był więc czas, gdy nie było Ziemi, a po nim przyszedł czas, gdy Ziemia się pojawiła. Powstanie nowej planety nie zdarza się przecież na co dzień, trudno więc doprawdy twierdzić, że procesem tym kierowały te same siły, które działają i obecnie. A zatem zasada aktualizmu nie zawsze jest jednak prawdziwa: nie da się przy jej pomocy wyjaśnić najważniejszego wydarzenia w dziejach naszej planety – jej narodzin.

Kiedy miało miejsce to dramatyczne wydarzenie? Cóż, badając zawartość różnych izotopów promieniotwórczych w próbkach skał, a także stosując inne, jeszcze bardziej wyrafinowane metody naukowego wnioskowania, można dowiedzieć się, kiedy powstała określona formacja geologiczna i kiedy żyły organizmy, których pozostałości dziś znajdujemy w postaci skamieniałości. Nawet dla stosunkowo nieodległej przeszłości istnieją jednak czasem rozbieżności w wynikach badań, a daty podawane jako ostateczne są później kwestionowane. Do niedawna utrzymywano na przykład, że plejstocen, epoka kolejno następujących po sobie zlodowaceń i okresów międzylodowcowych, rozpoczęła się około miliona lat temu (1 mlt.). Wkrótce datę tę przesunięto wstecz na 1,5 mlt., i szybko skorygowano na 1,7 mlt. W 2008 roku mówiono już o 1,806 mlt., a dziś (w roku 2012) oficjalnie za początek plejstocenu uznaje się już datę 2,58 miliona lat temu (ponieważ do epoki tej włączono ostatecznie piętro zwane gelasem, którego wcześniej w ogóle nie wyróżniano albo włączano do pliocenu). Ciekawe, ile pozostanie z tej niezwyklej dokładności datowania za kilka lat...

Im bardziej cofamy się w czasie, tym mniej dokładne okazują się datowania. Czas granicy kredy i trzeciorzędu, będący momentem, gdy ostatecznie wymarły dinozaury, określano pół wieku temu na 60-65 mlt. W podręcznikach wydanych w latach 80-tych XX wieku zdarzało się widzieć datę 70 mlt. Później jednak wrócono do dawniejszych poglądów, przesuając datę końca

mezozoiku na 66 mlt. W roku 2008 Międzynarodowa Komisja Stratygrafii (ICS) podawała datę $65,5 \pm 0,3$ mlt., dziś znów w firmowanej przez nią tablicy stratygraficznej widnieje data 66,0 mlt. (jako dokładna), wykraczająca poza przyjmowaną jeszcze parę lat temu granicę błędu.

Z kolei przełom ery paleozoicznej i mezozoicznej, a więc granicę permu i triasu, gdy doszło do największego wymierania w dziejach Ziemi, datowano niegdyś na 245-250 mlt. W roku 2008 podawano $251,0 \pm 0,4$ mlt. Dziś także przekroczono przyjmowane wcześniej granice błędu; w tablicy opublikowanej w roku 2012 figuruje już $252,2 \pm 0,2$ mlt. Początek dewonu datowano w 2008 na $416,0 \pm 2,8$ mlt., dziś podaje się z większą pokorą $419,2 \pm 3,2$ mlt. Wielkim przesunięciom uległa data początku kambru i zarazem paleozoiku; w publikacjach sprzed pół wieku spotkać można bardzo rozbieżne daty 510, 540, 570, a nawet 600 mlt., w roku 2008 uznano za właściwe datowanie na $542,0 \pm 1,0$ mlt., dziś już podaje się $541,0 \pm 1,0$ mlt.

Daty er i okresów wyróżnionych w obrębie prekambriu są o wiele mniej dokładne; zwykle daty zaokrągla się do 100 milionów lat. Zasadniczo wyodrębnia się w tym przedziale czasowym trzy ery (obecnie: eony), określane jako hadeik (lub czasem katarchaik), archaik i proterozoik. Pierwsza miała rozpocząć się w chwili uformowania się naszej planety i trwać do momentu obniżenia temperatury powierzchni do 100°C , w trakcie drugiej powstały oceany i pierwsze organizmy żywe, trzecia natomiast obejmowała czas, gdy życie było na Ziemi już dobrze zdomowione, gdy rozwijały się organizmy tlenowe, a następnie eukariotyczne i tkankowe. Początek archaiku jeszcze całkiem niedawno datowano na 2500 mlt., później na 3100 mlt., co wciąż jednak było w rażącej sprzeczności z deklaracjami, że życie pojawiło się w archaiku (a tym bardziej z deklaracjami, że powstało dopiero pod koniec tej ery) – najstarsze skamieniałości liczą bowiem co najmniej 3,8 mld lat. Dziś dolną granicę archaiku przesunięto już na 4000 mlt.

O wiele bardziej spekulatywna jest dolna granica hadeiku. ICS

podaje ostrożnie „około 4600 mln lat temu”, ale są źródła silące się na datowanie o wiele dokładniejsze, np. 4,467 mld lat temu. Aby być uczciwym, trzeba przyznać, że nie wiadomo, kiedy dokładnie miało miejsce ostateczne uformowanie się naszej planety. Co więcej, nie wiemy nawet, co dokładnie należy rozumieć pod tym sformułowaniem, i tym właśnie zajmiemy się w kolejnej części.

Największa katastrofa w dziejach Ziemi

Planety Układu Słonecznego nie zawsze znajdowały się tam, gdzie znajdują się dzisiaj. Jowisz, największa z planet, uformował się w zewnętrznych częściach dysku protoplanetarnego, gdzie znajdowały się duże ilości gazów i wody. Ciągłe zderzenia z różnymi okruchami materii zwiększały jego masę i hamowały prędkość obiegu wokół Słońca, w wyniku czego olbrzymia planeta zaczęła obniżać swoją orbitę. W ślad za nią podążały bryły lodu, rozproszone pierwotnie w odległych częściach dysku.

Międzyplanetarny lód przyczynił się do powstania Ziemi i pozostałych wewnętrznych planet skalistych. To właśnie wędrowce Jowisza w pierwszym okresie istnienia Układu Słonecznego zawdzięczamy oceany i wielkie ilości wody zgromadzone we wnętrzu Ziemi. Jednak gdyby cała ta pierwotna woda pozostała na Ziemi do dziś, powierzchnia planety byłaby zupełnie zakryta oceanem.

„Gdy Pan Bóg uczynił ziemię i niebo, nie było jeszcze żadnego krzewu polnego na ziemi, ani żadna trawa polna jeszcze nie wzeszła [...]” – tak zaczyna się drugi opis stworzenia świata zawarty w biblijnej Księdze Rodzaju (od wersetu Rdz 2,4b). Dzisiejsza nauka dopisałaby do tego biblijnego wersetu, że wtedy to doszło do pierwszego kataklizmu i zarazem do największej katastrofy w dziejach Ziemi. Oto bowiem nasza planeta, tuż po swoim powstaniu, zderzyła się z ciałem niebieskim wielkości Marsa, i właściwie dopiero wówczas uformowała się w sposób ostateczny. Kosmiczna kolizja o niewyobrażalnej skali spowodowała oderwanie się od Ziemi

olbrzymich ilości materii. Ziemia straciła też spore ilości wody, i tylko dzięki temu istnieją dziś na niej lądy.

Wybita materia, stanowiąca nawet 2% pierwotnej masy naszej planety, uformowała następnie Księżyc (jego masa stanowi dziś 1,23% czyli 1/81 masy Ziemi). Stąd właśnie pomysł nazwania planety będącej przyczyną tej największej kosmicznej katastrofy w historii naszego świata imieniem Teja (Theia, Thea) – jest to bowiem w greckiej mitologii imię matki Selene, bogini księżyca. Czasem nazywa się ją także Orfeuszem. Według najnowszych danych Księżyc powstał $4,527 \pm 0,1$ miliarda lat temu; byłaby to właśnie przybliżona data kolizji (inne źródła podają niewiele różniącą się datę 4,533 mld lat temu).

Twórcą tego scenariusza jest William K. Hartmann. Jego teoria wielkiego zderzenia (Giant-impact hypothesis) stała się wiarygodna, gdy przebadano skład chemiczny księżycowych skał i stwierdzono, że nie różni się on istotnie od składu skał ziemskich.

Innymi argumentami za przyjęciem tego poglądu są:

- podobna orientacja ziemskiej osi i orbity Księżyca,
- wyniki badań wskazujące, że księżycowe skały były kiedyś płynne,
- stosunkowo niewielkie żelazne jądro Księżyca,
- niedobory na Księżycu sodu, potasu, cynku, ołowiu, zwłaszcza zaś ich lżejszych izotopów,
- mniejsza gęstość Księżyca niż gęstość Ziemi,
- badania skamieniałości koralowców i innych organizmów, które wskazują, że doba trwała kiedyś krócej niż obecnie, co jest zgodne z teorią wielkiego zderzenia: doba trwała krócej, gdyż uderzenie spowodowało szybką rotację Ziemi (400 mlt. doba trwała 21 godzin, tuż po kolizji zaledwie 6 godzin),

- precyzyjne pomiary laserowe pokazujące, że Księżyc oddala się od Ziemi o ponad 3 cm rocznie,
- dowody istnienia podobnych kolizji protoplanet w młodym Układzie Słonecznym, np. wśród księżyców Saturna,
- zgodność założenia o istnieniu podobnych kolizji z najbardziej prawdopodobnym modelem powstania Układu Słonecznego,
- symulacje komputerowe procesu zderzenia, w których istotnie obserwujemy zakładany scenariusz wydarzeń.

Istnieją też fakty, których teoria Hartmanna dotąd nie wyjaśniała. Wymienia się tutaj:

- zbyt dużą ilość pierwiastków lotnych na Księżycu – zgodnie z teorią wielkiego zderzenia powinno być ich mniej,
- brak dowodów na istnienie oceanu płynnych skał na całej powierzchni Ziemi jako efektu kolizji z Teją,
- niedobór żelaza i innych metali na Księżycu, które powinny tam występować, gdyby materia budująca naszego satelitę pochodziła od Tei,
- zbyt duże różnice w składzie izotopowym skał księżycowych i ziemskich.

Mimo tych zastrzeżeń teoria wielkiego zderzenia jest przyjmowana powszechnie. Dopracowania wymagają jedynie pewne jej szczegóły.

Zakłada się, że Teja uformowała się w punkcie libracyjnym Ziemi, tj. krążyła wokół Słońca po tej samej orbicie, ale znajdowała się 60° przed lub za Ziemią. Gdy jej masa wzrosła mniej więcej do masy Marsa, pojawiły się oscylacje położenia i w końcu doszło do kolizji. Planety zderzyły się z prędkością 32 000 km/h, wyzwalaając miliardy megaton energii. Zderzenie było niecentralne, i dzięki temu Ziemia, jako większa,

przetrwała kolizję, choć stopiła się i zdeformowała oraz utraciła część wody, która się na niej znajdowała. Teja uległa jednak całkowitej dezintegracji. Część materii tworzącej nieszczęsną planetę ostatecznie mogła opaść na Ziemię, większość jednak wymieszała się z materiałem wybitym z naszej planety i zaczęła krążyć wokół zranionej Ziemi. Pierścień orbitujących skał zaczął stopniowo ulegać akrecji, i w niedługim czasie (nawet rzędu 100 lat) uformowało się nowe ciało niebieskie – Księżyc.

Ostatnio popularność zyskał pogląd, że część orbitujących wokół Ziemi skał skupiła się w punkcie libracyjnym formującego się Księżyca, co sprawiło, że nasza planeta miała przez pewien czas dwa satelity. Kilkadziesiąt milionów lat później doszło jednak do kolejnej kolizji, podczas której mniejszy księżyc uderzył w większy. Dlatego dziś skorupa w miejscu uderzenia na niewidocznej półkuli Księżyca jest znacznie grubsza niż na półkuli zwróconej ku Ziemi.

W momencie zderzenia protoplanet na Ziemi nie było jeszcze życia, zresztą gdyby nawet już się pojawiło, i tak nie przetrwałoby kosmicznego armagedonu, jaki się wówczas rozegrał. Jednym ze skutków kolizji było przetopienie wielkiej ilości skał, a tego nie przetrwałby żaden żywy organizm. Dla wszystkich potencjalnych mieszkańców globu takie zderzenie planet oznaczałoby rzeczywisty koniec świata. Na szczęście podobna kolizja nie jest możliwa w dającej się przewidzieć przyszłości.

Być może ta prehistoryczna kolizja sprawiła, że na Ziemi mogło rozwinąć się życie, przetrwać przez miliardy lat, i w końcu wydać z siebie istotę rozumną – człowieka. Poza utratą (znaczej) części masy nasza planeta zmieniła oś obrotu na pochyloną, dzięki czemu mamy dziś pory roku. Zmianie uległa też szybkość rotacji Ziemi, będącej przyczyną zjawiska dnia i nocy. Z tej niewyobrażalnej katastrofy Ziemia otrząsnęła się dopiero po ok. 30 milionach lat. Wówczas temperatura na jej powierzchni zaczęła opadać, a przetopione podczas zderzenia

skały zostały otoczone pierwotną skorupą. Grawitacja naszego satelity oddziaływała jednak wciąż na skały pozostające w stanie płynnym, i być może ten fakt przyczynił się do utrzymywania się geologicznej aktywności naszej planety przez kolejne miliardy lat. Można spekulować, że gdyby nie Księżyc, inaczej mogłoby wyglądać ziemskie jądro, a pole magnetyczne, chroniące nas przed zgubnymi skutkami kosmicznego promieniowania, mogłoby być o wiele słabsze niż jest.

W końcu temperatura powierzchni planety obniżyła się tak bardzo, że skropleniu uległa para wodna i powstały pierwsze oceany. Nowo powstały satelita pierwotnie krążył znacznie bliżej niż obecnie. Woda, która wypełniała oceany, podlegała silnemu oddziaływaniu grawitacyjnemu naszego satelity, i dlatego na pierwotnej Ziemi występowały pływy znacznie większe i intensywniejsze niż dziś. Fale pływowe rozpędzały się co najmniej do 160 km/h (niektórzy mówią nawet o prędkościach kilkakrotnie większych) i powodowały dobowe zmiany poziomu mórz sięgające kilkuset metrów. Klimat był też znacznie mniej stabilny niż dziś, występowały potężne burze i kwaśne deszcze. Huragany wiały z prędkością do 800 km/h. Erozja na brzegach ówczesnych mórz zachodziła z taką intensywnością, że woda stała się przesycona różnymi substancjami wypłukanymi ze skał. Utworzony w ten sposób bulion pierwotny z kolei stworzył optymalne warunki do powstania życia.

Można więc przypuszczać, że gdyby nie Księżyc, życie mogłoby w ogóle nie powstać. Nadmiar wody istniejącej na Ziemi od momentu jej powstania i uzupełnionej jeszcze w wyniku późniejszych procesów uniemożliwiłby istnienie lądów. Brak dużego satelity narażałby też naszą planetę na częste zmiany kąta nachylenia osi do płaszczyzny orbity. Takie zmiany powodowałyby niestabilność klimatu, co utrudniałoby, jeśli nie uniemożliwiałoby, rozwój wyższych form życia. Kataklyzm, który niemal unicestwił naszą planetę, okazał się nowym początkiem.

Dalsze dzieje Ziemi, i jednocześnie trwająca miliardy lat historia prowadząca do powstania człowieka, były możliwe

dopiero po katastrofie, która mogła doprowadzić do dezintegracji planety. Na szczęście zamiast całkowicie zniszczyć Ziemię, kolizja przekształciła ją w miejsce podatne do bytowania organizmów. Z czasem Księżyc oddalał się od Ziemi coraz bardziej, tarcie pływowe zwalniało stopniowo prędkość rotacji, a ekstremalne zjawiska pogodowe na jej powierzchni zanikały. Życie zyskało możliwości, by ewoluować.

Katastrofa zapewniła warunki niezbędne do „stworzenia” – choć dziś nikt myślący racjonalnie nie będzie się tu dopatrywać bezpośredniej ingerencji siły wyższej. Jeśli więc prawdziwy jest model objaśniający powstanie naszego satelity (dziś uważany za najbardziej wiarygodny), to w pewnym sensie rację miał także Cuvier. Po raz drugi okazuje się zatem, że model przeszłości zaproponowany przez aktualistów nie jest całkiem poprawny, a nasz świat może kiedyś spotkać los, który śmiało można określić terminem „koniec”. Na szczęście dziś napotkanie przez Ziemię na jej drodze przez bezkres kosmosu planety wielkości Marsa graniczy z całkowitym nieprawdopodobieństwem, póki co możemy zatem spać spokojnie.

POWSTANIE ŻYCIA I WIELKIE BOMBARDOWANIE

W jakiś czas po uformowaniu Księżyca doszło do skroplenia pary wodnej, powstania oceanów, a następnie rozwoju w nich pierwszych żywych organizmów. Gdyby nie płynna woda, zwłaszcza poddana działaniu Księżyca wywołującego potężne pływy, erozja skał następowałaby znacznie wolniej. Tymczasem jednak to, co na niedawno powstałej planecie miało pozostać stabilne (dosłownie jak skała), ulegało postępującemu niszczeniu. Liczne związki chemiczne zawarte w ziemskiej skorupie rozpuszczały się w wodach pierwotnych oceanów – a przecież gdyby nie obecność ciekłej wody, atakującej przybrzeżne skały z olbrzymią energią, związki te pozostałyby wewnątrz skał na długie miliardy lat. W każdym razie po skropleniu pary wodnej powierzchnię naszej planety zaczęły kształtować inne siły niż wcześniej, co logicznie rzecz biorąc nie jest może jakąś szczególnie spektakularną katastrofą, ale już na pewno jest

kolejnym odstępstwem od zasady geologicznego aktualizmu.

Katastroficzne skutki dla Ziemi miało za to z pewnością Wielkie Bombardowanie, 4,1–3,9 miliardów lat temu. Planety Układu Słonecznego zmieniały wówczas swoje orbity, zajmując stopniowo miejsca, w których znajdują się do dziś. Jowisz i Saturn najpierw zbliżyły się, a potem odsunęły od Słońca, Uran i Neptun zamieniły się miejscami (teoria hałsu). Te zmiany sprawiły, że okruchy materii międzyplanetarnej zostały wybite ze swoich trajektorii. Wiele z nich spadło następnie na planety i ich księżyce. Dlatego między innymi nasz Księżyc porany jest do dziś licznymi kraterami.

Ziemia była również celem kosmicznego ostrzału. Nawet 25% powierzchni Ziemi mogło ulec stopieniu w wyniku zderzeń. Spadające komety i planetoidy dostarczyły dużych ilości wody, uzupełniając częściowo straty, które poniosła Ziemia w wyniku kolizji z Teją.

W takich warunkach rozwinęło się na Ziemi życie. Mogło to nastąpić niedługo po powstaniu Księżyca. Symulacje komputerowe pokazują, że mikroorganizmy mogły przetrwać Wielkie Bombardowanie, a nawet mogło być ono dla życia czynnikiem stymulującym rozwój.

Od tamtych zamierzchłych czasów w ciągu milionów lat działalność żywych organizmów przyczyniała się znacząco do kształtowania oblicza naszej planety. Ale także i procesy zachodzące na Ziemi, a zwłaszcza zdarzenia z udziałem obiektów kosmicznych, przyczyniały się do rozwoju życia.

ZIEMIA ŚNIEŻKA

Katastrofą, choć bardzo powolną, okazało się na pewno pojawienie się na Ziemi (zapewne już 3 miliardy lat temu) organizmów samożywnych, zdolnych do fotosyntezy i do wykorzystywania dwutlenku węgla do produkcji związków organicznych. Produktem ubocznym tej asymilacji jest tlen – pierwiastek na wskroś zabójczy i trujący. Po jakimś czasie

większość organizmów nie tylko dopasowała się do jego obecności, ale nawet zaczęła go wykorzystywać do otrzymywania energii (w procesie oddychania tlenowego), początkowo jednak tlen był trucizną niszczącą całe ekosystemy i przyczyniającą się do zwiększonej erozji skorupy ziemskiej.

Innym efektem rozwoju biosfery (związanym z katastrofą tlenową, którą datuje się na 2,4 mld lat temu) mogły być wahania ziemskiego klimatu. Badania pokazują, że prawdopodobnie co najmniej dwukrotnie cała powierzchnia naszej planety ochłodziła się tak bardzo, że znalazła się pod lodem i śniegiem. Pierwszy raz wydarzyło się to około 2300 mlt., na granicy dwóch pierwszych okresów ery paleoproterozoicznej, sideru i riaku. Z kolei pomiędzy 720 a 635 mlt. nastął na Ziemi okres nazwany nie bez powodu kriogenem, podczas którego Ziemia znowu gwałtownie się ochłodziła, a nawet całkowicie zamarzła.

Obecnie mówi się o dwóch kriogeńskich zlodowaceniach rozdzielonych krótkim okresem ocieplenia, trwającym zaledwie milion lat. Pierwsze, zwane Sturtian, zaczęło się 720 mlt. i trwało niemal 60 milionów lat. Być może obejmowało w różnym czasie różne obszary. Globalny charakter miało zapewne drugie zlodowacenie, Marinoan, które rozpoczęło się około 660 mlt. i trwało 25 milionów lat. Twórcą teorii Ziemi śnieżki jest Joseph Kirschvink. Taki scenariusz jest dziś już dobrze uzasadniony i wiarygodny: m.in. odkryto ślady zlodowacenia w Australii, która wtedy znajdowała się na równiku.

Nie można wykluczyć, że swój udział w tych prawdziwych epokach lodowych miały czynniki kosmiczne, np. obniżenie intensywności promieniowania Słońca czy też wejście Układu Słonecznego w obszar galaktycznych pyłów. Być może jednak główną rolę odegrały żywe organizmy. Zużyły one zbyt dużo atmosferycznych gazów cieplarnianych, w tym CO₂ niezbędnego w procesie fotosyntezy, co musiało doprowadzić do globalnego spadku temperatur. Bujnie rozwijające się wówczas sinice dodatkowo wytrącały dwutlenek węgla w postaci stromatolitów.

Swoją rolę mogło odegrać też wietrzenie chemiczne. Nadmiar atmosferycznego dwutlenku węgla rozpuszczał się w wodach oceanów i wodzie deszczowej, a powstały kwas węglowy reagował z minerałami, tworząc wapienie, w których zostawał uwięziony na miliony lat.

W okresie kriogenu superkontynent Rodinia ulegał rozpadowi na mniejsze bloki, ale główne masy lądowe na Ziemi wciąż skupione były w strefie tropikalnej. Usuwanie gazów cieplarnianych związane z wietrzeniem chemicznym zachodzi szybciej w wysokiej temperaturze, co mogło doprowadzić do rozpoczęcia łańcuchowej reakcji ochłodzenia planety.

Proces ochładzania ma charakter sprzężenia zwrotnego dodatniego. Lód odbija 85% światła słonecznego. Gdy raz powstanie, jego obecność przyczynia się do dalszego obniżenia temperatury. Oceany częściowo skute lodem przestają absorbować ciepło pochodzące od Słońca, i planeta ochładza się. To z kolei przyczynia się do powstawania jeszcze większych ilości lodu. Klimatolog Michaił Budyko obliczył, że przekroczenie przez lodowce 30 równoleżnika spowoduje odbicie takiej ilości energii świetlnej, że procesu zamarzania nie uda się powstrzymać i obejmie on całą planetę.

Zlodowacenie kończyło się, gdy nasilały się procesy wulkaniczne. Erupcje wzbogacały atmosferę w dwutlenek węgla i inne gazy cieplarniane, co powodowało podniesienie temperatury planety. Innymi słowy do roztopienia lodu konieczne było inne źródło ciepła niż Słońce.

Życie powstało co najmniej 3800 mlt., bo z tego okresu znamy najstarsze skamieniałości. Przez 75% czasu, gdy istnieje na Ziemi, nie doszło jednak do powstania organizmów o wyższym stopniu organizacji. Wiek najstarszych wielokomórkowców może liczyć nie więcej niż 850 milionów lat. Nie jest jasne, co było przyczyną tej trwającej miliardy lat stagnacji. Być może była nią uboga w tlen atmosfera, co nie uniemożliwiało rozwoju życia, ale eliminowało jego wyżej rozwinięte formy. Możliwe

jednak, że za ten stan ewolucyjnej niemocy odpowiadały częste wahania klimatu, w tym występowanie zlodowaceń obejmujących całą planetę.

W czasach globalnych zlodowaceń życie istniało tylko w wodzie, a prawdopodobnie nawet tylko w oceanach. Pokrycie całej powierzchni kuli ziemskiej lodem i śniegiem nie mogło więc mieć charakteru całkowicie katastroficznego. Życie przetrwało pod lodem, podobnie jak jest zdolne przetrwać i dziś. Co więcej, takie warunki mogły podziałać stymulująco i zaindukować ważne ewolucyjne zmiany – powstanie eukariontów (co najmniej 2 mld lat temu) czy wielokomórkowców, które mogą być niemal tak stare jak eukarionty w ogóle.

Ostatnio wspomina się makroskamieniałości z Gabonu sprzed 2,1 mld lat, tzw. Gabonionta, jako najstarsze zachowane ślady wielokomórkowców. Miały one rozwinąć się po ustąpieniu zlodowacenia na granicy sideru i riaku. Nie wiadomo jednak, czy ich potomkowie przetrwali późniejsze kryzysy. Istnieje hipoteza, że dziś znane wielokomórkowce są potomkami organizmów powstałych dopiero z końcem kriogenu lub nawet w początku ediakaru.

Globalne kriogeńskie zlodowacenie przetrwały z pewnością ekstremofile zdolne do życia w niskich temperaturach. Wiemy jednak, że trudne warunki nie unicestwiły także wielu grup eukariontów. Być może dostosowały się do niskich temperatur, mogły jednak także przetrwać w sąsiedztwie wulkanów czy gejzerów, gdzie warunki były lokalnie o wiele znośniejsze. Jednak gdyby taka katastrofa zdarzyła się dziś, miałaby wymiar ogólnoplanetarnego armagedonu, tak dla bardzo wielu organizmów lądowych, jak i dla ludzkiej cywilizacji, i mogłaby cofnąć poziom rozwoju życia z powrotem do proterozoiku.

Po rozpoczęciu zlodowacenia światło ultrafioletowe rozбивało cząsteczki wody uwięzione w lodzie, w wyniku czego powstawał nadtlenek wodoru. Gdy zlodowacenie dobiegło końca, do atmosfery dostały się olbrzymie ilości tlenu powstałego z

rozkładu tej substancji. Być może ten właśnie czynnik spowodował gwałtowny rozwój wielokomórkowców w następnym okresie – ediakarze.

Czy takie ochłodzenie jest możliwe także dzisiaj? Skoro zdarzyło się już w historii planety (i to prawdopodobnie co najmniej dwukrotnie), z pewnością jest możliwe. Promieniowanie słoneczne jest bardzo źle absorbowane przez śnieg i lód, inaczej mówiąc większość tego promieniowania odbija się i zamiast ogrzewać Ziemię, wędruje w kosmos. Gdyby pokrywa śnieżna i lodowce objęły dostatecznie duży obszar, mogłoby dojść do przekroczenia punktu krytycznego, po którym globalnego zlodowacenia nie udałoby nam się już zatrzymać. Bez energicznej ingerencji ludzi na planetarną skalę (którą trudno sobie dziś wyobrazić) epoka lodowcowa mogłaby trwać miliony lat, doprowadzając przypuszczalnie do zagłady cywilizacji ludzkiej.

KATASTROFALNE WYMIERANIE

Nadejście kambru, datowane ostatnio na 541 milionów lat temu, rozpoczęło jawny eon w historii Ziemi – fanerozoik. Ilość zarówno skał, jak i skamieniałości, które przetrwały do dziś, znacząco wówczas wzrasta. Życie zaś podlega eksplozji kambryjskiej – zaczyna się jego gwałtowny rozwój, nieporównywalny z tym, co było znane wcześniej. Odpowiadały za to w jakimś stopniu na pewno korzystne zmiany klimatu, być może także nasze wrażenie potęguje fakt, że skamieniałości kambryjskie są lepiej zachowane niż wcześniejsze z uwagi na krótszy upływ czasu. W każdym razie kambryjska sielanka nie trwała nieprzerwanie. W „jawnej” (tj. fanerozoicznej) historii życia doszukano się co najmniej pięciu potężnych katastrof, które spowodowały wymarcie znaczącego odsetka ówczesnych organizmów. Szacuje się, że w całej historii planety 90% kiedykolwiek istniejących gatunków wymarło wskutek jakiejś katastrofy. Życie kilkakrotnie otarło się o krawędź całkowitej zagłady, i być może tylko połączenie szczęścia i szczególnej plastyczności żywych organizmów spowodowało, że przetrwało i

wydało z siebie nowe, doskonalsze formy uwiecznione powstaniem istoty rozumnej, która może tę historię badać.

A oto lista najważniejszych epizodów masowego wymierania w historii Ziemi, które dotąd zidentyfikowano.

PIERWSZE WYMIERANIE

Wymieranie ordowickie, 443 mlt. lub nieco wcześniej (zwykle datowane nieprecyzyjnie na „późny ordowik”). Ocenia się, że zagładzie uległo 85% istniejących form, głównie spośród głowonogów, trylobitów, mszywiołów, ramienionogów, graptolitów i konodontów. Jako przyczynę wskazuje się zjawisko kosmiczne: rozbłysk gamma lub wybuch pobliskiej supernowej. Rezultatem było obserwowane w skamieniałościach zwiększenie stężenia radioaktywnych izotopów, m.in. tlenu i azotu. Jako dodatkowe przyczyny wymienia się często szczególne nasilenie wulkanizmu i tektonizmu, zmianę klimatu owocującą zlodowaceniem południowego kontynentu – Gondwany, dryft kontynentów i związane z nim ruchy górotwórcze (faza takońska orogenezy kaledońskiej) i regresję morza (połączoną ze zlodowaceniem – tj. wynurzenie się wielkich obszarów płytkich mórz, na których wcześniej kwitło życie), po której znów nastąpiła znaczna transgresja (zalanie nadmorskich nizin, spowodowane topnieniem lodowców).

DRUGIE WYMIERANIE

Wymieranie dewońskie, na przełomie dwóch ostatnich pięter tego okresu, franu i famenu, 372 mlt. Istniało już wówczas dobrze rozwinięte życie na lądzie, reprezentowane przez lasy paprociowe, w których roiło się od owadów. Na wielkich obszarach przybrzeżnych rozwijały się bogate w gatunki rafy koralowe. Jest to jedyne z wielkich wymierań, które nie wyznaczyło końca okresu geologicznego. Zniknęło wówczas 83% gatunków, a jego domniemaną przyczyną był prawdopodobnie upadek meteorytu, po którym pozostał krater Alamo w Nowadzie (dowodzi tego anomalia irydowa); kandydatami mogą być też

krater Siljan w Szwecji (52 km średnicy), Aorounga w Czadzie (12 km), ewentualnie Tai w Chinach (68,5 km). Swój znaczący udział miały też zjawiska wulkaniczne o niespotykanej dotąd intensywności (wypływy lawy podczas eksplozji superwulkanu). Nie wiadomo, czy przypadkiem meteorytowy impakt nie zapoczątkował zwiększenia aktywności geologicznej, która doprowadziła ostatecznie do wybuchu i do kryzysu biosfery. Granicy F–F (fran – famen) nie przekroczyły liczne korale czteropromienne, trylobity, amonity, ramienionogi, tentakulity, szkarłupnie (w tym pęcherzowce Cystoidea), konodonty, bezszczękowce Thelodonti, Osteostraci, Anapsida. Jednak cały górny dewon był epoką niesprzyjającą rozwojowi życia; mniejsze wymieranie miało miejsce zarówno nieco wcześniej, jak i w końcu dewonu, 359 mlt. Pozytywnym skutkiem kryzysu było przyśpieszenie ewolucji ryb i wyjście na ląd płazów.

TRZECIE WYMIERANIE

Wymieranie permskie, 252 mlt. Znane jako „matka wielkich wymierań”. Nie bez powodu uważa się je za przełom między erami paleozoiczną a mezozoiczną – wymarło wówczas, według różnych szacunków, 90–98% gatunków morskich i około 70% lądowych. Wymarły ostatecznie korale czteropromienne, trylobity, wielkoraki (zwane poprawniejorskimi skorpionami), szkarłupnie (w tym pączkowce Blastoidea, co zakończyło istnienie całego podtypu Blastozoa), ryby fałdopłetwe, liczne płazy i gady. Za bezpośrednią przyczynę uważa się gigantyczny wpływ lawy na obszarze dzisiejszej Syberii, którego skutkiem było powstanie największych pokryw lawowych na Ziemi, zwanych trapami syberyjskimi (od szwedzkiego trappa – schody). Jeszcze kilka lat temu twierdzono, że nie istniała żadna kosmiczna przyczyna wymierania permskiego. Dziś jednak znamy już dwa kratery meteorytowe, powstałe właśnie w tym czasie – na Ziemi Wilkesa na obszarze Antarktydy, o średnicy niemal 500 km, oraz Bedout u płn.-zach. wybrzeży Australii, o średnicy prawie 200 km. Sądząc po rozmiarach krateru, większy z meteorytów musiał

mieć znacznie większe rozmiary od tego, który spowodował zagładę dinozaurów (jego średnicę ocenia się na 40 km). Wydaje się więc, że upadek ciał niebieskich był przyczyną wpływów lawy, a oba te zjawiska wspólnie spowodowały największe znane wymieranie w dziejach planety.

CZWARTE WYMIERANIE

Wymieranie triasowe, 201 mlt. Wymarło wówczas około 80% gatunków morskich, w tym konodonty, różne grupy liliowców i głowonogów, ale także wiele grup gadów, m.in. plakodonty, notozaurowe i liczne Crurotarsi dawniej zwane tekodontami (fitozaurowe, aetozaurowe, rauizuchy). Jako przyczynę wymierania wskazuje się efekt cieplarniany, podniesienie zawartości CO₂ w atmosferze (sto razy więcej niż obecnie) i znaczne obniżenie zawartości tlenu, wywołane wzmożonym wulkanizmem, który z kolei miał związek z postępującym rozpadem Pangei – jedyne go ówczesnego ziemskiego kontynentu – a także obniżenie poziomu morza. Uważa się, że zmiana składu atmosfery zainicjowała powstanie doskonalszych w działaniu typów płuc – pęcherzykowych u ssaków i rurkowych u przodków ptaków, a także – być może – pojawienie się worków powietrznych, które okazały się preadaptacją do lotu. Potencjalnej kosmicznej przyczyny wymierania triasowego nie odnaleziono; podejrzewany o to upadek łańcuskowy meteorytów, którego śladem są krater Manicouagan i Saint Martin w Kanadzie, Rochechouart we Francji, Obołoń na Ukrainie i Red Wing w USA, wydarzył się najprawdopodobniej 12 milionów lat wcześniej.

PIĄTE WYMIERANIE

Wymieranie kredowe, 66 mlt. Najbardziej spektakularne z uwagi na zagładę dinozaurów (i z tego względu zwane niekiedy pierwszym armagedonem), choć nie największe w dziejach naszej planety. Według różnych ocen wymarło wówczas ok. 50–75% gatunków, w tym wiele grup roślin lądowych, liczne otwornice, belemnity, niemal wszystkie amonity (jeden gatunek przeżył wymieranie kredowe, ale wymarł niedługo potem), liczne grupy

gadów, w tym dinozaury (z wyjątkiem pochodzących od nich ptaków), pterozaurow, plezjozaurów, mozazaurów. Z całej gromady gadów przetrwały tylko żółwie, hatterie, łuskonośne, krokodyle oraz champsozaury (Choristodera), które wymarły z końcem eocenu. Uważa się, że wymierania nie przeżyły żadne zwierzęta o masie ponad 20 kg.

Przełom mezozoiku i kenozoiku zwany jest twardym dnem lub granicą K-T (kreda – trzeciorzęd), choć w związku z rezygnacją z wyróżniania trzeciorzędu należałoby raczej mówić o granicy K-Pg (kreda – paleogen). Powstałe wówczas osady zawierają spore ilości irydu, pierwiastka występującego w meteorytach. Dlatego dziś jako przyczynę wymierania kredowego wskazuje się głównie upadek asteroidy o średnicy ok. 9 km na ówczesnie zalany płytkim morzem teren obecnego półwyspu Jukatan i Zatoki Meksykańskiej, w wyniku którego powstał krater Chicxulub o średnicy 160 km. Energię uderzenia szacuje się na zbliżoną do energii wybuchu 100 trylionów ton trotylu lub ponad 5 miliardów bomb atomowych.

Sam impakt nie miał jeszcze aż tak destrukcyjnego wpływu na biosferę, zadziaływały natomiast liczne inne związane z nim czynniki.

- Fala uderzeniowa rozeszła się z prędkością 1600 km/h, powalając drzewa i nawet największe zwierzęta. Fale sejsmiczne wywoływały trzęsienia ziemi nawet w odległych zakątkach planety.

- Uderzenie spowodowało powstanie żaru, w którym spłonęły lub wyparowały pobliskie żywe organizmy.

- Nawet setki kilometrów od miejsca upadku znaleziono sadzę będącą dowodem pożarów roślinności. Szacuje się, że pożary strawiły połowę ówczesnych lasów na Ziemi. Bezpośrednio nadległe warstwy skalne nie zawierają śladów drzew ani krzewów.

- Skalne odłamki powstałe w wyniku impaktu opadły nawet 650 km od miejsca uderzenia. Lawina odłamków spadała nawet przez 4

kolejne doby.

- Wiele skał wyparowało, by po skropleniu i zestaleniu opaść na ziemię w postaci ognistego deszczu i przyczyniając się do wzrostu temperatury powietrza. Opad cząstek rozżarzonych skał wzniecił olbrzymie pożary roślinności na globalną skalę.

- Pył częściowo opuścił nawet ziemską atmosferę, a z czasem opadł nie tylko z powrotem na Ziemię, ale także na Księżyc i sąsiadujące z Ziemią planety. Zanieczyszczenia pyłowe w atmosferze ograniczyły dostęp światła słonecznego. Niebo zasnuły gęste chmury. Po przejściu fali żaru temperatura całej planety znacznie się obniżyła, wskutek czego wyginęły organizmy ciepłolubne. Ziemię spowił mrok, ucierpiały rośliny uzależnione od dostępu światła niezbędnego do procesu fotosyntezy. Ich brak spowodował wymarcie roślinożerców, a w ślad za nimi drapieżników. Szacuje się, że wszystkie dinozaury wyginęły w ciągu 3 miesięcy.

- Ponieważ miejsce zderzenia było zalane morzem, powstały fale tsunami o wysokości do 150 m, które wdarły się głęboko w ląd.

- W następstwie pożarów nastąpiło zwiększenie stężenia CO₂, CO i CH₄ w atmosferze w ilości, którą wydzieliłyby dziś działające elektrownie w ciągu 3000 lat.

- Spory wpływ miały związki siarki, które znajdowały się w podłożu w miejscu upadku meteorytu. Już tydzień po katastrofie spadł pierwszy kwaśny deszcz. Podobne opady trwały przez kolejne 10 lat. Niszczyły roślinność i bezpośrednio także zwierzęta, które nie mogły znaleźć schronienia. Doszło do zakwaszenia wody morskiej, co stało się m.in. przyczyną wymarcia amonitów, budujących muszle z węglanu wapnia.

- Po opadnięciu całego pyłu i odzyskania przejrzystości atmosfery pojawił się efekt cieplarniany i zaburzenia w obiegu wody w skali planety, będące przyczyną suszy.

- Stan równowagi w środowisku lądowym został przywrócony

dopiero po 100 tysiącach lat od katastrofy. Oceany potrzebowały jednak aż 3 milionów lat na odzyskanie stabilizacji.

Wiadomo jednak, że nie był to jedyny czynnik, który działał w tym czasie. Prawdopodobnie w Ziemię uderzyła wówczas także druga asteroida, znacznie większa, około 40 km średnicy, która utworzyła krater Śiwa na dnie Oceanu Indyjskiego, o średnicy 500 km. Inne prawdopodobne kratery meteorytowe powstałe w tamtym czasie to Silverpit na terenie Morza Północnego (między 2,4 a 10 km średnicy), Bołtysz koło Kirowohradu na Ukrainie (24 km średnicy), Vista Alegre w Brazylii (9,5 km średnicy) oraz Eagle Butte w Kanadzie (10 km).

Na terenie obecnych Indii doszło wówczas do wypływów lawy na wielką skalę, w wyniku czego powstały trapy Dekanu. Niektórzy wskazują, że czynnik ten miał znacznie większe znaczenie dla wymierania kredowego niż upadek meteorytu. Każda większa erupcja uwalniała do atmosfery olbrzymie ilości trujących gazów, powodowały trzęsienia ziemi, fale tsunami, kwaśne deszcze. Być może indyjski wulkanizm był skutkiem impaktu; pewne badania wskazują jednak, że erupcje rozpoczęły się kilkaset tysięcy lat wcześniej. Czasowa zbieżność obu wydarzeń jest jednak porażająca.

Istnieją krytycy przedstawionego wyżej scenariusza wydarzeń. Negują oni istnienie katastrofy na granicy kredy i paleogenu. Wskazują na fakt, że nie znaleziono masowych cmentarzysk olbrzymich ilości dinozaurów, które poniosłyby śmierć w czasie impaktu lub wkrótce później. Uzależnione od wody płazy i żółwie morskie powinny były wyginąć w wyniku opadu kwaśnych deszczy. Jaszczurki i inne organizmy zmiennocieplne przetrwały jakoś zakładane obniżenie temperatury. Zanik roślinności nie spowodował wymarcia roślinożernych owadów. Wbrew obiegowym opiniom przetrwały też pewne dinozaury, mianowicie ptaki, które faktycznie są jedną z grup maniraptorów.

Niezależnie od zastrzeżeń realności samego impaktu podważać

nie można. Albo obraz jego skutków, który stworzyli badacze, jest zbyt katastroficzny, albo też – co jest bardziej prawdopodobne – nie doceniamy pomysłowości życia, które potrafi znaleźć sposób na przetrwanie nawet tak wielkiej katastrofy. A niektóre kontrargumenty przeciwników poglądu o decydującym wpływie upadku meteorytu uważane są za naiwne. Dotyczy to zwłaszcza braku wielkich ilości martwych dinozaurów. Podnosi się tu kwestię wielkiej niekompletności zapisu kopalnego, a także faktu, że gdyby wszystkie osobniki, które zginęły w wyniku impaktu, zmarły w innych okolicznościach (rok, dziesięć czy nawet sto lat później), również nie pozostawiłyby one masowych cmentarzysk. Przeżycie płazów dotyczy zaś najprawdopodobniej zaledwie kilku gatunków, które następnie zróżnicowały się w erze kenozoicznej, stąd dzisiejsza różnorodność.

SZÓSTE WYMIERANIE

Niektórzy twierdzą, że od kilku tysięcy lat zachodzi szóste wielkie wymieranie, którego powodem jest działalność człowieka. Pod tym względem byłoby one wyjątkowe w dziejach Ziemi. Już zniknęło wiele gatunków płazów, wymarły też różne gatunki ptaków i ssaków. Zagrożona jest połowa gatunków gadów i owadów, 75% gatunków roślin.

MNIEJSZE WYMIERANIA

Przedstawiona wyżej lista obejmuje tylko największe udokumentowane przypadki wymierania. Z nieco mniejszych trzeba wymienić:

- wymieranie środkowopermskie (260 mlt.), o intensywności niewiele ustępującej późniejszemu o 8 milionów lat wymieraniu permskiemu, spowodowane przypuszczalnie silnym wulkanizmem i regresją mórz,
- wymieranie dolnojurajskie na przełomie pliensbachu i toarku (183 mlt.), towarzyszył mu wulkanizm, ocieplenie i transgresja,

- wymieranie górnokredowe na granicy C–T (cenoman – turon, 94 mlt.), z towarzyszącym wulkanizmem i transgresją,
- wymieranie paleoceńskie (56 mlt.), spowodowane wzrostem wulkanizmu, ociepleniem i transgresją,
- wymieranie eoceńskie (34 mlt.), wywołane przypuszczalnie upadkiem asteroidy (jako ślady upadku brane są pod uwagę krater Popigaj w Rosji, w Kraju Krasnojarskim, o średnicy 90 km, Chesapeake Bay w USA, w stanie Wirginia, 40 km, a także Mistastin w Kanadzie na Nowej Fundlandii i Labradorze, o średnicy 28 km).

Istnieją także badania sugerujące, że w kambrze miały miejsce dwa wielkie wymierania, o nieustalonych na razie przyczynach.

WNIOSKI

Jak widać z zestawień, najczęstszą (i być może powszechną) przyczyną kryzysów w dziejach ziemskiej biosfery są upadki ciał niebieskich. I gdyby sugerować się wyłącznie historią Ziemi, moglibyśmy zaryzykować twierdzenie, że jeśli rzeczywiście ma nas wkrótce spotkać globalna katastrofa, którą będzie można nazwać końcem świata, to upadek wielkiego meteorytu byłby najlepszym kandydatem na jej przyczynę.

Nie należy jednak zapominać o tym, że w czasie wielkich katastrof, jakie miały miejsce w historii naszej planety, nie istnieli jeszcze ludzie, a tym bardziej nie istniała ludzka cywilizacja. Jej destrukcyjny wpływ na środowisko jest powszechnie znany. Jeśli więc wkrótce spotka nas coś bardzo tragicznego, to prawdopodobnie my sami będziemy tego przyczyną.

Autorstwo: Grzegorz Jagodziński

Źródło: Grzegorz.interiowo.pl

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

1. Marian B. Michalik, „Kronika Ziemi”, Wydawnictwa Kronika,

Warszawa 1992.

2. Parker S. (red.), „Historia ewolucji”, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2017.

3. „Naukowcy znaleźli kolejne dowody na to, że około 4.5 mld lat temu Ziemia zderzyła się z planetą wielkości Marsa, w efekcie czego powstał Księżyc”, <http://losyziemi.pl/naukowcy-znalezli-kolejne-dowody-na-to-ze-okolo-4-5-mld-lat-temu-ziemia-zderzyla-sie-z-planeta-wielkosci-marsa-w-efekcie-czego-powstal-ksiezyc>

4. PAP, „Potwierdzono, że Księżyc powstał z wielkiego zderzenia”, <https://wiadomosci.wp.pl/potwierdzono-ze-ksiezyc-powstal-z-wielkiego-zderzenia-6031572078322817a>

5. „To dzięki wyginięciu dinozaurów żaby podbiły Ziemię”, <http://wyborcza.pl/7,75400,22062320,to-dzieki-wyginięciu-dinozaurów-zaby-podbiły-ziemie.html>

6. Mariusz Błoński, „Wielkie Bombardowanie nie zniszczyło życia na Ziemi?”, <http://kopalniawiedzy.pl/Wielkie-Bombardowanie-bakterie-mikroorganizmy-zycie-Ziemia-hadeik,7574>

7. Wikipedia (różne artykuły w różnych językach)

8. Harris S., Stubberfield T., „Katastrofy z prehistorii” („Prehistoric Disasters”), miniserial dokumentalny (5 odcinków).

9. „Zwierzęcy armagedon” („Animal Armageddon”), miniserial dokumentalny (8 odcinków).

10. Cohen D.J., Tarantino L.C., „Pierwsza apokalipsa” („First Apocalypse”), film dokumentalny.