

Kontrowersje wokół przyczyn wielkich katastrof ekologicznych w historii Ziemi: podsumowanie debaty

Grzegorz Racki*

Trwająca blisko 20 lat (od odkrycia anomalii irydowej) polemika nad przyczynami wielkich katastrof ekologicznych w historii Ziemi między zwolennikami koncepcji upadku gigantycznego bolidu i kataklizmu wulkanicznego doprowadziła do istotnych modyfikacji pierwotnych paradygmatów. Do najbardziej istotnych należą modele kryzysów biotycznych („kroczących” wymierań) wskutek wielokrotnej i (lub) skośnej kolizji z obiektem pozaziemskim, zwłaszcza kometą, jak też koncepcje nawiązujące do dalekosiężnych skutków ekosystemowych erupcji superpióropusza płaszczu czy wielkoskalowego ryftingu. Najbardziej perspektywiczne są scenariusze wymierań odwołujące się albo wyłącznie do ziemskich procesów, zwłaszcza oceanograficznych i klimatycznych (np. intensywnie propagowany model transgresji/anoksji), z coraz lepiej rozumianą rolą zjawisk wulkaniczno-hydrotermalnych, albo koncepcje „mieszane” — z mniejszym lub większym udziałem katastrof kosmicznych. Ta ostatnia hipoteza jest szczególnie przydatna dla wyjaśnienia wymierania z końca kredy, gdy doszło do nałożenia się skutków obu rodzajów kataklizmów o zasięgu globalnym. Dalsze kompleksowe badania o coraz bardziej interdyscyplinarnym charakterze, nawiązujące do zdarzeń kredowych i kenozoicznych jako swoistych reperów, są konieczne dla zrozumienia wielu zagadek historii biosfery, szczególnie w paleozoiku.

Słowa kluczowe: debata o masowych wymieraniach, teoria impaktu, teoria kataklizmu wulkanicznego, model transgresji/anoksji, superpióropusz płaszczu, zdarzenie kreda-trzeciorzęd, zdarzenie perm-trias

Racki Grzegorz — **Controversies over causes of global ecological catastrophes in the Earth history: a summary of impact/volcanism debate.** Prz. Geol., 47: 343–348.

S u m m a r y. Polemics concerning causes of worldwide ecological collapses in the Earth history between advocates of giant bolide impact and of volcanic cataclysm, lasting since discovery of the iridium anomaly almost 20 years ago, have led to principal modifications of the original paradigms. To the most important novelties belong models of protracted biotic crises (stepwise extinctions) due to multiple and/or oblique collision with extraterrestrial objects, especially comets, as well as concepts recalling long-term ecosystem consequences of an eruption of mantle (super)plumes and large-scale rifting. The most promising scenarios based either exclusively on Earth-bound processes, chiefly oceanographic and climatic changeovers (e.g. the highlighted model of coupled transgression and anoxia) with better-evaluated participation of volcanic-hydrothermal phenomena, or „mixed” hypotheses, i.e. including also a smaller or greater role of cosmic accidents. The latter scenario is particularly useful in explanation of the end-Cretaceous mass extinction, in which two the major destructive events certainly occurred contemporaneously. Further integrative studies, progressively more interdisciplinary and employing Cretaceous and Cenozoic events as the references, are necessary for understanding of many puzzles in the biosphere history, mostly through the Paleozoic.

Key words: mass-extinction debate, bolide-impact theory, volcanic cataclysm theory, transgression/anoxia model, mantle superplume, Cretaceous-Tertiary boundary event, Permian-Triassic boundary event

Do najbardziej żywo dyskutowanych zagadnień z kręgu nauk o Ziemi należy geneza globalnych zmian ekosystemowych, manifestujących się nie tylko epizodami masowych wymierań, ale i gwałtownymi zmianami (na ogół nieciągłymi) w zapisie osadowym. Debata, wiązana nawet z kryzysem tej dziedziny nauk wskutek zanegowania uniformitarianizmu (patrz Glen, 1994), wyszła w latach 80. szeroko poza środowiska naukowe. Wiąże się to z nagłośnieniem przez Alvareza i in. (1980) teorii wielkiej katastrofy kosmicznej jako przyczyny wyginięcia dinozaurów w końcu kredy. Dyskusja spowodowała popularyzację problematyki nauk geologicznych, jak i rozkwit prac interdyscyplinarnych, dobrze widoczny w monograficznych tomach *Geological Society of America* po kolejnych konferencjach *Snowbird*.

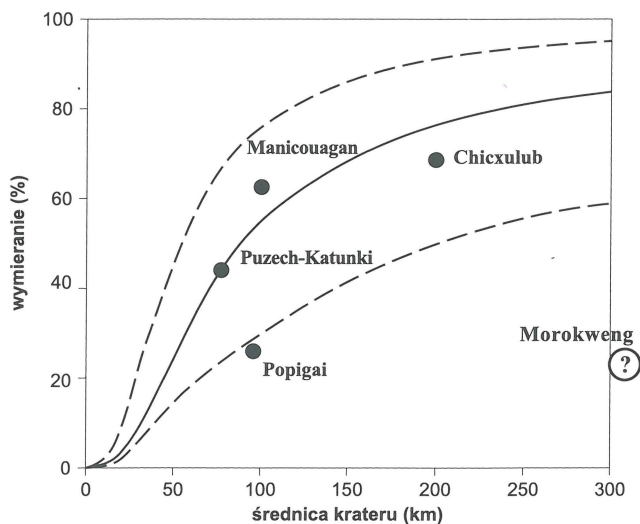
Mimo kilkunastu lat intensywnych badań i nieustających polemik, spektrum poglądów jest wciąż bardzo szerokie: od całkowitego negowania występowania zjawisk katastroficznych, przynajmniej w fanerozoicznej historii biosfery (Briggs [W:] Glen, 1994), aż po przypisywanie impaktowi asteroidu odpowiedzialności za niemal wszystkie zjawiska geologiczne w wyniku zaburzenia procesów w obrębie płaszczu Ziemi, w tym zdarzenia geotektoniczne oraz paleomagnetyczne (np. Rampino & Caldeira, 1992; por. też McLaren, 1996). Należy jednak podkreślić, że istotne

przegrupowania i modyfikacje koncepcji miały miejsce nie tylko w obozie zwolenników koncepcji dominacji wpływów pozaziemskich (*impactors*; Glen, 1994), ale też i wśród grupy badaczy konsekwentnie lansujących decydującą rolę mechanizmów endogenicznych, przede wszystkim wulkanizmu (*volcanists*). Celem niniejszego przeglądu jest krótkie podsumowanie stanu tej debaty A.D. 1998, a zwłaszcza zmian w stosunku do poglądów sprzed kilkunastu lat przedstawionych obszernie na tych łamach przez Ryszkiewicza (1986).

Modyfikacje paradygmatu impaktu

Szczegółowo udokumentowany, narastający (kroczący; *stepwise*) charakter wymierań w pobliżu kluczowych granic stratygraficznych (np. McGhee, 1996; MacLeod i in., 1997) stopniowo wyklucza szersze zastosowanie hipotezy globalnej katastrofy kosmicznej („piekła dantejskiego”) w wyniku upadku wielkiego asteroidu (por. Sharpton & Marin, 1997), jaki oryginalnie proponowali Alvarez i in. (1980) dla granicy kreda-trzeciorzęd (K-T). Odkrycie gigantycznego krateru Morokweng o domniemanej średnicy około 340 km w południowej Afryce, datowanego na wyjątkowo „spokojne” pogranicze jury z kredą (Koeberl i in., 1997), może ostatecznie prowadzić do zanegowania prostej zależności między energią impaktu a wielkością wymierania. Próbowano to opisać przy pomocy tzw. impaktowej krzywej zabijania (Raup, 1992; patrz ryc. 1). Określenie rozmiarów kraterów — zwłaszcza pogrzeba-

*Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

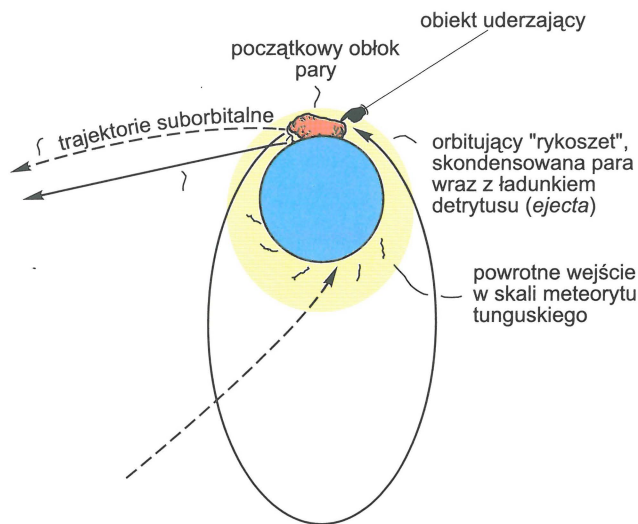


Ryc. 1. Impaktowa krzywa zabijania gatunków morskich w fanerozoiku (patrz Raup, 1992), z pokazaniem ważniejszych kraterów łączonych z wymieraniami o różnej skali (wg Rampino i Haggerty, 1996, ryc. 5), łącznie z niedawno odkrytym gigantycznym(?) kraterem Morokweng datowanym na pogranicze jury i kredy (Koeberl i in., 1997)

Fig. 1. Impact kill curve for Phanerozoic marine species (see Raup, 1992), plotted against more important craters associated with extinctions of various magnitude (after Rampino & Haggerty, 1996, Fig. 5), including recently discovered gigantic(?) Morokweng crater of the Jurassic-Cretaceous boundary age (Koeberl et al., 1997)

nych — bywa jednak niepewne (np. Sharpton & Marin, 1997). Z drugiej strony, duży wpływ na skutki katastrofy miały też na pewno takie czynniki jak rodzaj ciała uderzającego oraz charakter skalnego podłoża miejsca impaktu, a zwłaszcza jego geograficzna lokalizacja — np. w strefie tropikalnej czy podbiegunowej (Rampino i in., 1997; Toon i in., 1997; Wilde & Quinby-Hunt, 1997); ten ostatni aspekt dotyczy również zakresu następstw kataklizmu wulkanicznego (Duncan i in., 1997).

Stopniowe przechodzenie od koncepcji nagłego zdarzenia i katastroficznego wymierania do rozciągniętego w czasie kryzysu biotycznego (Walliser [W:] Walliser, 1996) rzutuje na rosnącą popularność modeli wielokrotnego impaktu i (lub) o skośnym kącie uderzenia w powierzchnię Ziemi (ryc. 2). Ten pierwszy scenariusz, bazujący na obser-



Ryc. 2. Ewolucja oddalonego od Ziemi „rykoszetu” parowo-gruzowego powstałego w wyniku niskokątowego (< 15°) impaktu, z powrotnymi zdarzeniami dającymi wielokrotny efekt zdarzenia meteorytu tunguskiego oraz szybkim (< 1000 lat) uformowaniem się pierścienia typu Saturna z możliwym znacznym stresem klimatycznym w skali miliona lat (Schultz i Gault, 1990, ryc. 20)

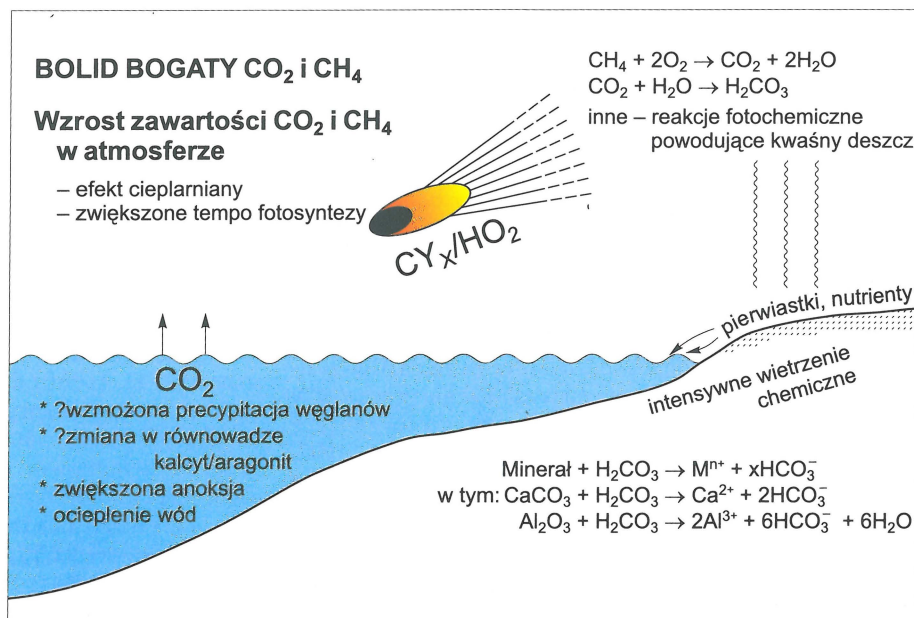
Fig. 2. The evolution of distant ricochet, vaporized mass, and entrained ejecta due to low-impact angles (< 15°); reentry of the debris will produce the effects of multiple-Tunguska meteorite event, and Saturn-like ring quickly will develop (< 1000 years) with a possible significant climatic stress lasting million years

wacjach związku poziomów wymierania mikrofauny i znalezisk mikrotektytów w eocenie (Hut i in., 1997), zyskał ostatnio dodatkowe dowody w postaci precyzyjnie datowanych kraterów oraz zmian izotopów helu dokumentujących epizodyczny dopływ pyłu srodoplanetarnego (Farley i in., 1998). W tej chwili grad komet (*comet shower*) sugerowany jest jako przyczynę globalnych kryzysów w późnym dewonie (McGhee, 1996) oraz w końcu triasu (Spray i in., 1998) i kredy (Kauffman & Hart [W:] Walliser, 1996). Z kolei ogromny rozmiar dewastacji obszaru Północnej Ameryki wyjaśnia się nie tylko bliskością krateru Chicxulub, ale też skośną naturą uderzenia i przemieszczaniem się na północ chmury parowo-gruzowej (Schultz & d’Hondt, 1996).

Ostatnio dyskutuje się możliwość kolizji z pozaziemskimi obiektami lodowo-gazowymi, o hipotetycznie zaska-

Ryc. 3. Hipotetyczne skutki kolizji z kometą bogatą w węgiel (wg Wilde i Quinby-Hunt, 1997, ryc. 2)

Fig. 3. Hypothetical consequences of collision with carbon-rich cometary body (after Wilde & Quinby-Hunt, 1997, Fig. 2)



Tab. 1. Podsumowanie proponowanych przyczyn głównych kryzysów biotycznych w fanerozoiku (wg Hallama & Wignalla, 1997, Tab. 11.1, z uzupełnieniami wg Duncana i in., 1997, Farley'a i in., 1998, Spray'a i in., 1998 i Rackiego, w druku); ranga wymierania za Barnesem i in. ([W:] Walliser, 1996), uzup.)

Kryzys	Ranga	Impakt	Wulkanizm	Ochłodzenie	Ocieplenie	Regresja	Anoksja/ transgresja
Późny wczesny kambry	III					•	•
Późny ordowik (aszgil)	I			•	•	•	•
Fran-famen	I	?o	o	o		o	•
Dewon-karbon	II			o			•
Perm-trias	I		•		•	o	•
Trias-jura	I	o					o
Wczesna jura (toark)	IV		o				•
Cenoman-turon	III			o			•
Kreda-trzeciorzęd	I	•	•	•		•	o
Paleocen-eocen	IV		•		•		
Eocen-oligocen	III	o		•			

• — udokumentowana przyczyna, o — możliwa przyczyna

kujących implikacjach geologicznych (Wilde & Quinby-Hunt, 1997). I tak, w zależności od składu, komety mogą być przyczynami globalnego ocieplenia lub oziębnienia, eutrofizacji wód oceanicznych i rozwoju warunków anoksydacyjnych lub odwrotnie — zmniejszenia produktywności (ryc. 3). Krater Chicxulub może być zapisem uderzenia komety złożonej głównie z materiału niekrzemianowego (lód, węglowodory; Sharpton & Marin, 1997), podobnie jak i obiekt pozaziemski odpowiedzialny za powstanie późnowońskiej (wczesnofrańskiej) brekcji Alamo w Nowadzie (Warne & Kuehner, 1998).

Modyfikacje paradygmatu katastrofy wulkanicznej

Różnorodne scenariusze ogólnosiwiatowego kryzysu w wyniku kataklizmu wulkanicznego (np. Keith, 1982; Officer i in., 1987) zostały bezpośrednio powiązane z modelami pióropusza płaszcz (mantle plume; McCartney i in., 1990), rozwiniętymi następnie — za pośrednictwem koncepcji erupcji superpióropusza (superplume; Larson, 1991; Garzanti, 1993) — w hipotezę Pele (Landis i in., 1996). Przedstawiane są one jako wyłącznie ziemski paradygmat dla wieloetapowych katastrof ekologicznych, uwarunkowanych epizodycznym uwalnianiem z jądra Ziemi znacznych ilości ciepła (model nieregularnie „bijącego serca“ planety; por. Loper, 1997). Wiąże się to jednocześnie ze stabilizacją pola magnetycznego Ziemi (Larson, 1991). Analiza zapisu geomagnetycznego wskazuje, że model ten może być przydatny do wyjaśniania większości ważniejszych kryzysów biotycznych (por. Algeo, 1997). Efekt cieplarniany (greenhouse) i zmiany składu atmosfery są dobrze udowodnione dla środkowokredowego okresu aktywności pióropusza (Larson, 1991; Landis i in., 1995). Dotyczy to też i późniejszych epizodów wymierań, wymuszonych hydrotermalnymi procesami w trakcie reorganizacji płyt, przede wszystkim kryzysu na granicy paleocen-eocen (Liu & Schmitt, 1996).

Zwraca się również uwagę na dużo większe destruktywne oddziaływanie erupcji kontynentalnych niż

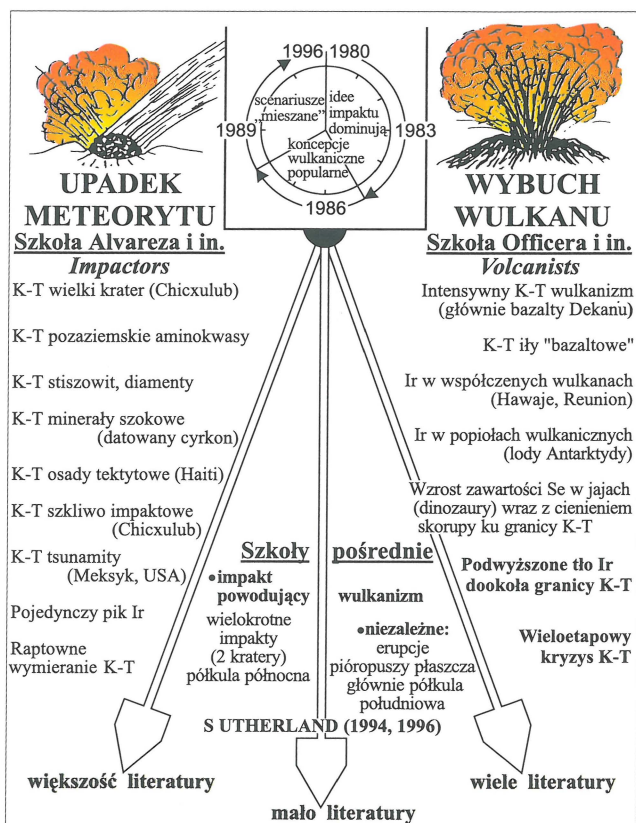
oceanicznych, na co wskazują szczególnie kryzysy z końca permu i kredy (Coffin & Eldholm, 1994; Courtillot i in., 1996). Wulkanizm podmorski wydaje się pełnić rolę stymulującą w ewolucji ekosystemów oceanicznych, jako źródło ciepła i pierwiastków biofilnych (Vermeij, 1995). Różnorodna rola czynników wulkaniczno-hydrotermalnych w zmianach oceanicznych środowisk, łącznie z zabójczymi dla biocenozy rafowych mega-upwellingami, eutrofizacją i globalnymi epizodami beztlenowymi, jest jednak coraz lepiej rozumiana, zwłaszcza w przypadku wielu kryzysów biotycznych kredy (Vogt, 1989; Sinton & Duncan, 1997).

Co więcej, gwałtownie powstające doliny ryftowe i indukowane stresem zmiany w gęstości płyt mogą odpowiadać za szybkie fluktuacje poziomu oceanu światowego i rozwój anoksji w okresach ciepłych (bez lodolodów na biegunach). Odnosi się to więc w zasadzie do wszystkich wielkich kryzysów za wyjątkiem późnowońskiej (Cathles & Hallam, 1991). Hipoteza ta wydaje się być prawdopodobna dla wymierania frańsko-fameńskiego (F-F; por. Racki, 1999) i triasowo-jurajskiego (Hallam, 1997).

Zakres zastosowania scenariusza „mieszanego“

Znaczący postęp w poznaniu wpływu procesów mających swe źródła głęboko wewnątrz Ziemi uświadcza coraz bardziej, że w kontrowersji wokół przyczyn globalnych katastrof ekologicznych raczej miało zarówno lobby Jowisza, jak i Plutona (w terminologii Agera, 1993; patrz ryc. 4). Wciąż próbuje się powiązać aktywizację magmatyzmu z impaktem (?po przeciwnych stronach globu; Boslough i in., 1996). Dokładne analizy geochemiczne pogranicza K-T (Liu & Schmitt, 1996), uzupełnione odkryciem anomalii irydowej w obrębie wulkanicznej sekwencji Trapów (Bhandari i in., 1995), czynią jednak coraz bardziej wiarygodnym „mieszany“ scenariusz narastającej katastrofy ekologicznej. Zakłada on niezależny udział (w dłuższym interwale czasowym; Landis i in., 1996) zjawisk tektoniczno-magmowych oraz epizodów pozaziemskich (por. Vogt, 1989). Taki zintegrowany model kryzysu K-T od lat przedstawia australijski badacz Sutherland (ryc. 5), ostatnio z uwypukleniem decydującej roli aktywności głęboko posadowionego pióropusza płaszcz na półkuli południowej, oraz finalizującego kryzysu impaktu — lub raczej szeregu impaktów — na półkuli północnej (Sutherland, 1994, 1996; por. Chatterjee & Rudra, 1996). Decydujące znaczenie miałyby zatem fakt, że wówczas doszło do nałożenia się skutków obu rodzajów kataklizmów o zasięgu globalnym (Courtillot i in., 1996). Co ciekawe, taką dwuskalowość czasową katastroficznych zjawisk K-T sugerowali — na podstawie analizy zapisu paleontologicznego — już Alvarez i in. (1984).

Tego typu skomplikowane współdziałanie wielu wzajemnie powiązanych czynników ziemskich (zmiany klimatu, fluktuacje poziomu morza, eutrofizacja, zdarzenia beztlenowe; Hallam & Wignall, 1997), a niekiedy i pozaziemskich, w destabilizacji ekosystemu globalnego staje się coraz bardziej uzasadnionym wyjaśnieniem i innych tajemnic zapisu stratygraficznego (tab. 1). Poza granicą K-T nie ma bowiem przekonujących dowodów (kwarc szokowy, mikrotektyty, anomalie geochemiczne) na dominujący udział impaktów w kreowaniu stresu środowiskowego podczas pozostałych wielkich kryzysów biotycznych



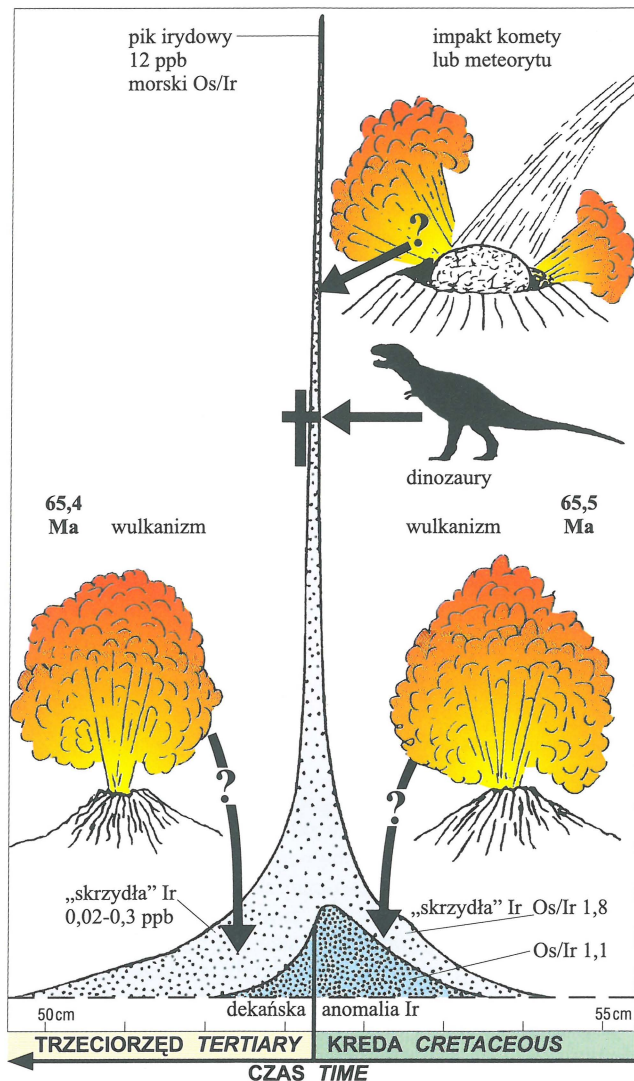
Ryc. 4. Diagram sumujący debatę na temat przyczyn masowego wymierania na granicy kredy i trzeciorzędu (K-T) w kategoriach trzech podstawowych modeli: impaktowego, wulkanicznego i „mieszanego” (w dwóch wersjach; por. ryc. 5), w ujęciu Sutherlanda (1994, ryc. 1; 1996; zmieniony)

Fig. 4. Diagrammatic summary of the debate concerning causes of the Cretaceous-Tertiary (K-T) mass extinction in categories of three principal models: bolide impact, volcanic and „mixed“ (in two versions; see Fig. 5), according to Sutherland (1994, Fig. 1; 1996; modified)

(Hallam & Wignall, 1997), a w szczególności tego największego na granicy permu z triasem (ryc. 6). Przykład stopniowego załamania się ekosystemu w trakcie kryzysu F-F dowodzi szczególnie skomplikowanych relacji między mechanizmami endogenicznymi a hipotetycznymi impaktami, prawie na pewno o znaczeniu regionalnym, dobrze znanym z kenozoiku (Racki, 1999). Jak dowodzi wyżej wzmiankowana zagadka zdarzenia Morokweng, niekiedy ekosystem globalny może być odporny nawet na największe zaburzenia, ale to właśnie chwilowy stan biosfery ma decydujące znaczenie dla rozległości skutków kolizji z ciałem pozaziemskim czy wielkiej erupcji wulkanicznej. Yabushita (1998) z analizy statystycznej wnioskuje, że prawdopodobnie jedynie nieliczne gigantyczne impakty wywarły decydujący wpływ na kryzysy biotyczne — w tym kontekście nie można uznać za udokumentowaną periodyczność zapisu geologicznego.

Uwagi końcowe

Wewnętrzna dynamika systemów biologicznych jest często podnoszoną lecz słabo rozumianą kwestią przy interpretowaniu przyczyn i przebiegu procesów ewolucji (Conway Morris, 1998), jak dowodzi tego modelowanie krytycznego poziomu bioróżnorodności (Kaufman i in., 1998). Nawet identyfikacja zmian bioróżnorodności w kluczowych interwałach stratygraficznych — łącznie z pograniczem K-T

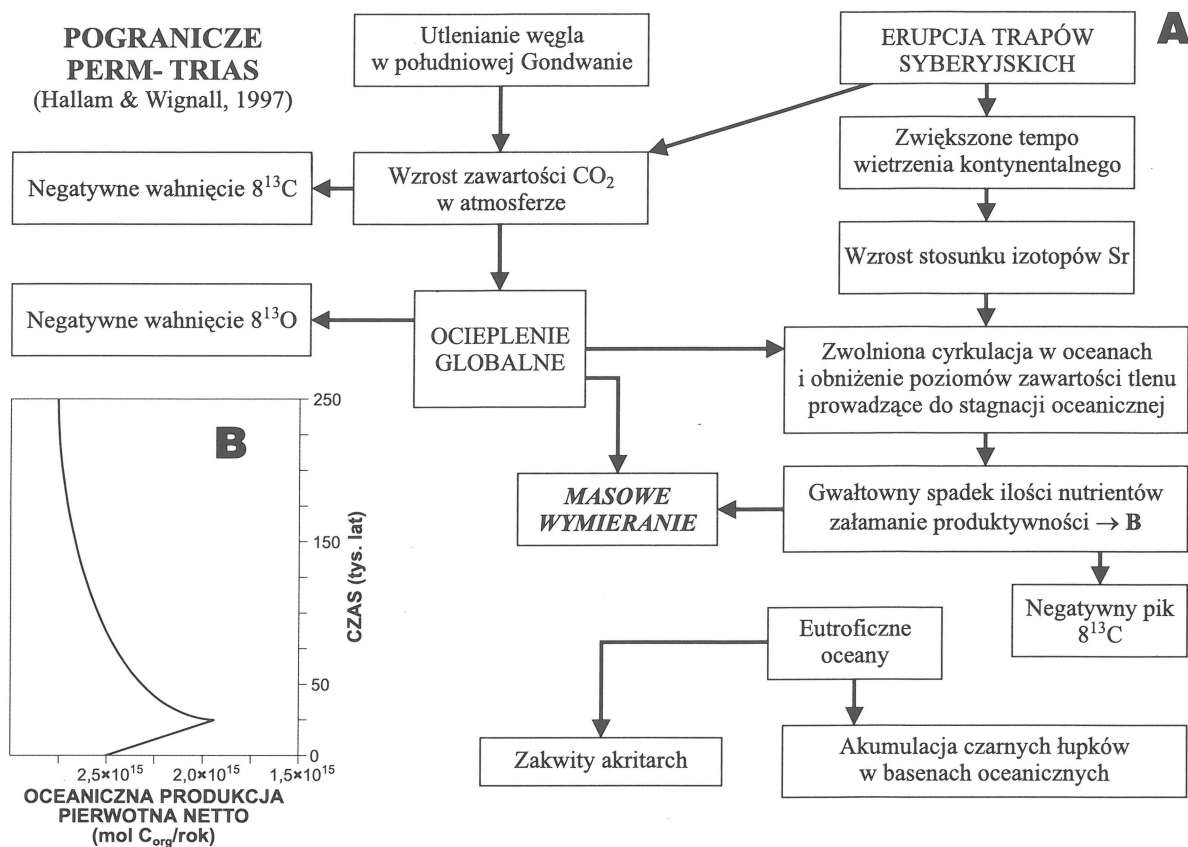


Ryc. 5. Interpretacja zapisu geochemicznego K-T z profili morskich i lądowych Indii jako wyniku nałożenia się dwóch globalnych kataklizmów: długotrwałej aktywności wulkanicznej oraz impaktu bolidu (wg Sutherlanda, 1996, ryc. 7)

Fig. 5. Interpretation of the geochemical K-T record in Indian marine and terrestrial sections, in relation to two contemporaneous global cataclysms: long-term volcanic activity and bolide impact (after Sutherland, 1996, Fig. 7)

(MacLeod i in., 1997) — jest jednak wciąż niepewna i obfitująca w pułapki (ryc. 7). Coraz bardziej wrywkowa znajomość przebiegu procesów ewolucyjnych wraz z rosnącym wiekiem geologicznym sprzyja wykrywaniu statystycznych artefaktów, a nie rzeczywistych wymierzeń (np. Carroll, 1997).

Szeroka współpraca specjalistów z wielu dziedzin nauk przyrodniczych jest zatem niezbędna przy dalszym poznawaniu uwarunkowań wielkich katastrof ekologicznych w geologicznej historii Ziemi, łącznie z kryzysem czekającym nas w niedalekiej przyszłości (Briggs [W:] Glen, 1994; Walliser, 1996). Oprócz tradycyjnego już splotu kwestii paleobiologicznych, geochemicznych i sedymentologicznych, koordynacja badań dotyczyć powinna zagadnień z pogranicza tektoniki płyt, geofizyki oraz paleomagnetyzmu, szczególnie zagadkowych w przypadku globalnych zdarzeń sprzed mezozoiku (patrz tab. 1). Dowodzi tego choćby zakres niepewności w modelowaniu skutków superpióropusza płaszczka (Loper, 1997). Do pod-

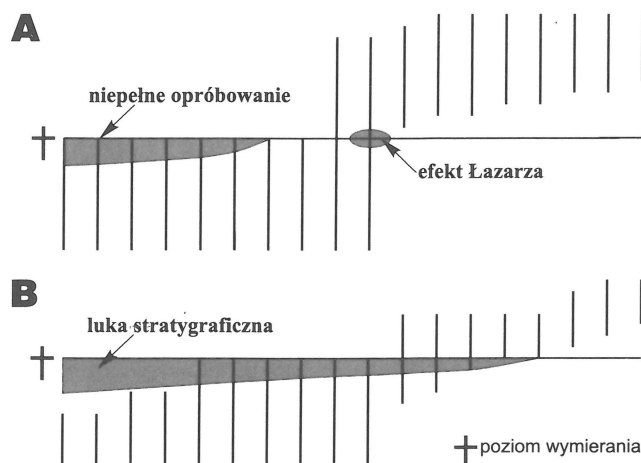


Ryc. 6. Schemat scenariusza globalnego ocieplenia i oceanicznych anoksji dla wielkiego wymierania na granicy permu i triasu (A), z hipotetyczną ewolucją pierwotnej produktywności morskiej na skutek gwałtownego obniżenia cyrkulacji (B): po katastroficznym załamaniu początkowym następuje stopniowe odrodzenie się ekosystemu wskutek wzmoczonej regeneracji bentonicznej fosforu w warunkach euksenicznych (wg Hallama & Wignalla, 1997, ryc. 5–17 i 5–18, uproszczone)

Fig. 6. Flow chart for the global warming-marine anoxia scenario for the major Permian-Triassic mass extinction (A), with hypothetical evolution of primary productivity after an instantaneous decrease in oceanic circulation (B): a catastrophic initial crash is followed by ecosystem recovery because of the enhanced benthic regeneration of phosphorus in euxenic conditions (after Hallam & Wignall, 1997; Figs 5–17 and 5–18, simplified)

stawowych zadań należy też wyjaśnienie relacji między zdarzeniami w ekosystemach morskich i lądowych, co do korelacji których zdania są wciąż podzielane (por. Benton, 1995; Boulter, 1997). Stosunkowo dobrze rozumiane wydarzenia kredowe i kenozoiczne powinny być punktem wyjścia do interpretacji starszych kryzysów biotycznych (Keith, 1982) i przezwyciężania trudności w interpretacji „faktów” masowych wymierań, jak dyskutował to Flessa (1990) i Benton (1994).

Wielu badaczy, szczególnie z drugiej strony Atlantyku, uważa wciąż katastrofy kosmiczne za klucz do zrozumienia historii Ziemi — manifestuje się to poprzez rozwijanie zunifikowanej teorii impaktowych kryzysów i masowych wymierań przez McLarena (1996). Rampino i Haggerty’ego (1996) oraz Rampino i in. (1997). Jak jednak zauważył już dawno Hallam (1984), zanim zacniemy korzystać z hipotez astronomicznych dla wyjaśniania punktów zwrot-



Ryc. 7. Typowe trudności związane z rekonstrukcją zmian bioróżnorodności w trakcie masowych wymierań (patrz Flessa, 1990; Benton, 1994; MacLeod i in., 1997). A — fałszywy krokoczący kryzys biotyczny wynikający jedynie z niepełnego opróbowania (efekt Signora-Lippsa), ale też rzutującego na pozorne zanikanie taksonu przy niedostatecznej znajomości jego prawdziwego zasięgu (efekt Łazarza). B — fałszywe katastroficzne wymieranie wskutek nierozpoznanych nieciągłości zapisu osadowego

Fig. 7. Typical pitfalls paired with reconstruction of biodiversity changes in course of mass extinctions (see Flessa, 1990; Benton, 1994; MacLeod et al., 1997). A — false stepwise biotic crisis as a record of fragmentary sampling (Signor-Lipps effect), but also influencing an artificial disappearance of taxon due to insufficient identification of its real range (Lazarus effect). B — false catastrophic extinction simulated by unrecognized sedimentary breaks

nych w rozwoju ziemskiej biosfery, warto lepiej poznać bogaty zapis geologiczny naszej własnej planety.

Literatura

- AGER D. 1993 — The New Catastrophism. The Importance of Rare Events in Geological History. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- ALGEO T.J. 1996 — Geomagnetic polarity bias patterns through the Phanerozoic. *J. Geophys. Res.*, 101: 2785–2814.
- ALVAREZ L.W., ALVAREZ W., ASARO F. & MICHEL H. 1980 — Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208: 1095–1108.
- ALVAREZ W., KAUFFMAN E.G., SURLYK F., ALVAREZ L.W., ASARO F. & MICHEL H.V. 1984 — Impact theory of mass extinctions and the invertebrate fossil record. *Science*, 223: 1135–1141.
- BENTON M.J. 1994 — Palaeontological data and identifying mass extinctions. *Trends Ecol. Evol.*, 9: 181–185.
- BENTON M.J. 1995 — Diversification and extinction in the history of life. *Science*, 268: 52–58.
- BHANDARI N., SHUKLA P.N., GHEVARIYA Z.G. & SUNDARAM S.M. 1995 — Impact did not trigger Deccan volcanism — evidence from Anjar-K/T boundary intertrappean sediments. *Geophys. Res. Lett.*, 22: 443–446.
- BOSLOUGH M.B., CHAEL E.P., TRUCANO T.G., CRAWFORD D.A. & CAMPBELL D.L. 1996 — Axial focusing of impact energy in the Earth's interior: a possible link to flood basalts and hotspots. [W:] *Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth history*. *Geol. Soc. Am. Spec. Publ.*, 307: 541–550.
- BOULTER M.C. 1997 — Plant macroevolution through the Phanerozoic. *Geol. Today*, 13: 102–106.
- CARROLL R.L. 1997 — Limits to knowledge of the fossil record. *Zool. Anal. Compl. Syst.*, 100: 221–231.
- CATHLES L.M. & HALLAM A. 1991 — Stress-induced changes in plate density, Vail sequences, epeirogeny, and short-lived global sea level fluctuations. *Tectonics*, 10: 659–671.
- CHATTERJEE S. & RUDRA D.K. 1996 — KT events in India: impact, rifting, volcanism and dinosaur extinction. *Mem. Queensland Museum*, 39: 489–532.
- COFFIN M.F. & ELDHOLM O. 1994. — Large igneous provinces: crustal structure, dimensions, and external consequences. *Rev. Geophys.*, 32: 1–36.
- CONWAY MORRIS S.C. 1998 — The evolution of diversity in ancient ecosystems: a review. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 353: 327–345.
- COURTILLOT V., JAEGER J.J., YANG Z., FERAUD G. & HOFMANN C. 1996 — The influence of continental flood basalts on mass extinctions: where do we stand? [W:] *Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth history*. *Geol. Soc. Am. Spec. Publ.*, 307: 513–525.
- DUNCAN R.A., HOOPER P.R., REHACEK J., MARSH J.S. & DUNCAN A.R. 1997 — The timing and duration of the Karoo-Igneous Event, Southern Gondwana. *J. Geophys. Res.*, 102, 18127–18138.
- FARLEY K.A., MONTANARI A., SHOEMAKER E.M. & SHOEMAKER C.S. 1998 — Geochemical evidence for a comet shower in the Late Eocene. *Science*, 280: 1250–1253.
- FLESSA K.W. 1990 — The "facts" of mass extinctions. [W:] *Global catastrophes in Earth history*. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 247: 1–7.
- GARZANTI E. 1993 — Himalayan ironstones, "superplumes", and the breakup of Gondwana. *Geology*, 21: 105–108.
- GLEN W. (red.) 1994 — *Mass Extinction Debates: How Science Works in a Crisis*. Stanford Univ. Press, Stanford.
- HALLAM A. 1984 — The causes of mass extinctions. *Nature*, 308: 686–687.
- HALLAM A. 1997 — Estimates of the amount and rate of sea-level change across the Rhaetian-Hettangian and Pliensbachian-Toarcian boundaries (Latest Triassic to Early Jurassic). *J. Geol. Soc. Lond.*, 154: 773–779.
- HALLAM A. & WIGNALL P.B. 1997 *Mass extinctions and their Aftermath*. Oxford University Press, Oxford.
- HUT P., ALVAREZ W., ELDER W., HANSEN T., KAUFFMAN E.G., KELLER G.R., SHOEMAKER E.M. & WEISSMAN P.R. 1987 — Comet showers as a cause of mass extinctions. *Nature*, 329: 118–126.
- KAUFMAN J.H., BRODBECK D. & MELROY O.R. 1998 — Critical biodiversity. *Conserv. Biol.*, 12: 521–532.
- KEITH M.L. 1982 — Violent volcanism, stagnant oceans and some inferences regarding petroleum, strata-bound ores and mass extinctions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 2621–2637.
- KOEBERL C., ARMSTRONG R.A. & REIMOLD W.E. 1997 — Morokweng, South Africa: a large impact structure of Jurassic-Cretaceous boundary age. *Geology*, 25: 731–734.
- LANDIS G.P., RIGBY J.K., SLOAN R.E., HENGST R. & SNEE L.W. 1996 — Pele hypothesis: ancient atmospheres and geochemical controls of evolution, survival and extinction [W:] MacLeod N. & Keller G. (red.), *Cretaceous-Tertiary Mass Extinctions: Biotic and Environmental Changes*. W.W. Norton, New York: 519–556.
- LARSON G. 1991 — Geological consequences of superplumes. *Geology*, 19: 963–966.
- LIU Y.G. & SCHMITT R.A. 1996 — Cretaceous-Tertiary phenomena in the context of sea-floor rearrangements and p(CO₂) fluctuations over the past 100 m.y. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60: 973–994.
- LOPER D.E. 1997 — Mantle plumes and their effect on the Earth's surface: a review and synthesis. *Dynam. Atmos. Oceans*, 27: 35–54.
- MACLEOD N., RAWSON P.F., FOREY P.L., BANNER F.T., BOUDAGHER-FADEL M.K., BOWN P.R., BURNETT J.A., CHAMBERS P., CULVER S., EVANS S.E., JEFFERY C., KAMINSKI M.A., LORD A.R., MILNER A.C., MILNER A.R., MORRIS N., OWEN E., ROSEN B.R., SMITH A.B., TAYLOR P.D., URQUHART E. & YOUNG R. 1997 — The Cretaceous-Tertiary biotic transition. *J. Geol. Soc. Lond.*, 154: 265–292.
- MCCARTNEY K., HUFFMAN A.R. & TREDOUX M. 1990 — A paradigm for endogenous causation of mass extinction [W:] *Global catastrophes in Earth history*. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 247: 125–138.
- MCGHEE G.R. 1996 — The Late Devonian Mass Extinction. The Frasnian-Famennian Crisis. Columbia Univ. Press, New York.
- MCLAREN D.J. 1996 — Mass extinctions are rapid events. *Palaio*, 11: 409–410.
- OFFICER C.B., HALLAM A., DRAKE C.L. & DEVINE J.D. 1987 — Late Cretaceous and paroxysmal Cretaceous/Tertiary extinctions. *Nature*, 326: 143–149.
- RACKI G. 1999 (w druku) — The Frasnian-Famennian biotic crisis: how many (if any) impacts? *Geol. Rundschau*, 88.
- RAMPINO M.R. & CALDEIRA K. 1992 — Episodes of terrestrial geologic activity during the past 250 million years: a quantitative approach. *Celest. Mech. Dynam. Astron.*, 54: 143–159.
- RAMPINO M.R. & HAGGERTY B.M. 1996 — Impact crises and mass extinctions; a working hypothesis. [W:] *Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth history*. *Geol. Soc. Am. Spec. Publ.*, 307: 11–30.
- RAMPINO M.R., HAGGERTY B.M. & PAGANO T.C. 1997 — A unified theory of impact crises and mass extinctions: quantitative tests. *Ann. N.Y. Acad. Sc.*, 822: 403–431.
- RAUP D.M. 1992 — Large-body impact and extinction in the Phanerozoic. *Paleobiology*, 18: 80–88.
- RYSZKIEWICZ M. 1986 — Wielki spór o wielkie wymieranie. *Prz. Geol.*, 34: 20–24, 78–82.
- SCHULTZ P.H. & D'HONDT S. 1996 — Cretaceous-Tertiary (Chixulub) impact angle and its consequences. *Geology*, 24: 963–967.
- SCHULTZ P.H. & GAULT D.E. 1990 — Protracted global catastrophes from oblique impacts. [W:] *Global catastrophes in Earth history*. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 247: 239–261.
- SHARPTON V.L. & MARIN L.E. 1997 — The Cretaceous-Tertiary impact crater and the cosmic projectile that produced it. *Ann. N.Y. Acad. Sc.*, 822: 353–380.
- SINTON C.W. & DUNCAN R.A. 1997 — Potential links between oceanic plateau volcanism and global ocean anoxia at the Cenomanian-Turonian boundary. *Econ. Geol.*, 92: 836–842.
- SPRAY J.G., KELLEY S.P. & ROWLEY D.B. 1998 — Evidence for a Late Triassic multiple impact event on Earth. *Nature*, 392: 171–173.
- SUTHERLAND F.L. 1994 — Volcanism around K/T boundary time — its role in an impact scenario for the K/T extinction events. *Earth-Sc. Rev.*, 36: 1–26.
- SUTHERLAND F.L. 1996 — The Cretaceous/Tertiary-boundary impact and its global effects with reference to Australia AGSO J. *Austral. Geol. Geophys.*, 16: 567–585.
- TOON O.B., ZAHNLE K., MORRISON D., TURCO R.P. & COVEY C. 1997 — Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets. *Rev. Geophys.*, 35: 41–78.
- VERMEIJ G.J. 1995 — Economics, volcanoes, and Phanerozoic revolutions. *Paleobiology*, 21: 125–152.
- VOGT P.R. 1989 — Volcanogenic upwelling of anoxic, nutrient-rich water: a possible factor in carbonate-bank/reef demise and benthic faunal extinctions? *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101: 1225–1245.
- WALLISER O.H. (red.) 1996 — *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. Springer, Berlin.
- WARME J.E. & KUEHNER H. C. 1998 — Anatomy of an anomaly: Devonian catastrophic Alamo impact Breccia of Southern Nevada. *Int. Geol. Rev.*, 40: 189–216.
- WILDE P. & QUINBY-HUNT M.S. 1997 — Collisions with ice-volatile objects: geological implications — a qualitative treatment. *Palaeoogeogr. Palaeclimatol. Palaecool.*, 132: 47–63.
- YABUSHITA S. 1998 — A statistical test of correlations and periodicities in the geological record. *Celest. Mech. Dynam. Astron.*, 69: 31–48.