

Permsko-triasno izumrtje - kako (skoraj) uničiti življenje na Zemlji?

Tomaž Hitij

The Permian-Triassic extinction event

The beginning as well as the end of the Triassic period was characterized by a mass extinction event. The Permian-Triassic extinction event was the Earth's severest extinction event, with up to 96 % of marine species and 70 % of terrestrial vertebrate species becoming extinct (BENTON, 2005). The fossil evidence shows that the extinction was a process, which lasted several million years and ended with a strong pulse at the end of the Permian period. Most probably, there were two major extinction pulses few million years apart (WARD *et al.*, 2005; JIN *et al.*, 2000; RAMPINO *et al.*, 2000). The boundary between the Middle and Upper Permian has for long been known as a period of sea regression (HALLAM & WIGNALL, 1999). It is supposed that there is an evident correlation between this regression and the first extinction pulse, since the sea regression caused large and biologically diverse shallow-water marine areas on carbonate platforms to disappear (JIN *et al.*, 1994; HALLAM & WIGNALL, 1999; SHEN & SHI, 1996; HALLAM & WIGNALL, 1997). However, the second extinction pulse was much more devastating. It caused the extinction of about 80 % of marine species alive at that time, whilst the other losses occurred during the first pulse or the interval between the pulses (STANLEY & YANG, 1994). The second extinction pulse started with the flood basalt eruptions, which produced the Siberian Traps. The initial global warming caused by the eruption of approximately 2 million km³ of volcanic material melted frozen gas hydrate bodies in the ocean floor (REICHOW *et al.*, 2002). The methane rich in ¹²C rose to the surface of the oceans in huge bubbles. The released methane increased global warming, consequently melting further gas hydrate reservoirs. The process continued in a positive feedback spiral – the “runaway greenhouse” phenomenon. Some sort of threshold was probably reached, pushing the ecosystems far beyond the natural equilibrium. The system spiraled out of control, leading to the biggest crash in the history of life (WIGNALL, 2001; ERWIN *et al.*, 2002; WHITE, 2002; BERNER, 2002).

V času perma pred približno 260 milijoni let bi Zemljo iz vesolja težko prepoznali. Vse velike kopenske mase so bile združene v en superkontinent, ki je segal od »polo do pola« – kontinent Pangea. Pangeo je obdajal ocean Panthalassa. V sredino velike Pangee se je z vzhoda zajedalo morje Paleotetida. V zahodnem delu Paleotetide pa so se v bližini ekvatorja nahajali deli ozemlja današnje Slovenije. Če bi se spustili na Zemljo, bi na kopnem lahko prepoznali najrazličnejša okolja od bujnih pragozdov, rdečih vročih puščav pa vse do Antarktiki podobnih

ledenih prostranstev. Na prvi pogled je bilo skoraj vse tako kot je dandanes – skoraj. Ko bi stopili nekoliko bližje, bi opazili, da je živi svet drugačen. V zgornjem permu je kopno poseljevala množica najrazličnejših primitivnih plazilcev terapsidov in ogromnih dvoživk, ki so živele ob rekah in gozdovih. Gozdove so tvorile velike praprotnice, družbo pa so jim delali nekoliko redkejši iglavci in ginkovci. V morjih so koralni grebeni tvorili bogata življenjska okolja; školjke, morske lilije, ramenonožci najrazličnejših oblik in velikosti, jate nenavadnih rib z oklepi iz drobnih lusk

in amoniti. Le redko je blatno dno prečesaval kak trilobit, kot le še daljni spomin na stare čase. V teh zapletenih in bogatih ekosistemih so živali in rastline živele v medsebojni odvisnosti v stalni borbi za preživetje.

Prihajal pa je že veter sprememb, čas, ko bo staro zamenjalo novo. Čas največje katastrofe v zemeljski zgodovini, zaradi katere bo izginilo kar 96 % vseh morskih vrst in 70 % vrst kopenskih vretenčarjev (BENTON, 2005). To je permsko-triasno izumrtje, ki mu upravičeno pravimo tudi »veliko umiranje«.

Prvi sunek

Dolgo že poznamo ta prelomni dogodek v Zemljini zgodovini, a smo do nedavnega o vzrokih vedeli le malo. Najnovejša strokovna literatura nam ponuja veliko novih odgovorov in še več vprašanj ter različnih interpretacij. Še vedno ostaja nekaj nejasnosti glede poteka, časa in trajanja izumiranja, ker le-to ni prizadelo vseh skupin živali naenkrat. Izumiranje je različne skupine živali in rastlin v različnih obdobjih ob koncu perma prizadelo različno močno (BENTON, 2005). Dokazi nakazujejo, da je bilo izumiranje proces, ki je trajal nekaj milijonov let, končal pa se je z najmočnejšim sunkom v zadnjem milijonu let perma (WARD *et al.*, 2005; JIN *et al.*, 2000; RAMPINO *et al.*, 2000). Teorija (STANLEY & YANG, 1994), ki jo še vedno podpirajo nekateri novi članki (RESTALLACK *et al.*, 2006), pravi, da sta bila za izumiranje kriva dva večja sunka, ki sta se zgodila v presledku 5 milijonov let. Po tej teoriji se je prvi sunek zgodil na prehodu iz srednjega v zgornji perm (STANLEY & YANG, 1994). Plitvododne morske favne karbonatnih okolij so bile še posebej močno prizadete. Tako so številne fuzulinidne foraminifere, iglokožci, ramenonožci, mahovnjaki in korale postali žrtve prvega vala izumiranja (OTA & ISOZAKI, 2006; SHEN & SHI, 2002; WANG & SUGIYAMA 2000; JIN *et al.*, 1994). Izumrli so tudi vsi, razen enega samega rodu plazilcev podreda *Dinocephalia* (RESTALLACK *et al.*, 2006).

Prehod iz srednjega v zgornji perm je že dolgo poznan kot interval morske regresije (upada morske gladine) (HALLAM & WIGNALL, 1999). Povezava med morsko regresijo in izumrtjem je zelo močna in večina študij kaže, da je prav velika izguba tega najbogatejšega morskega okolja povzročila prvi sunek izumiranja (JIN *et al.*, 1994; HALLAM & WIGNALL, 1999; SHEN & SHI, 1996; HALLAM & WIGNALL, 1997).

Drugi sunek – konec starega in začetek novega

Po prvem močnejšem valu izumiranja je sledilo vmesno obdobje, temu pa zadnji končni sunek, ki je bil veliko močnejši in je povzročil še dodatnih 80 % izgub med morskimi vrstami, ki so preživele prvi sunek in vmesno obdobje (STANLEY & YANG, 1994). Čeprav je bilo po odkritju vzroka za izumrtje dinosavrov na meji med kredo in terciarjem veliko predvidevanj, da je trk ogromnega bolida povzročil tudi permsko-triasno izumrtje, dandanes za to ni nobenih prepričljivih dokazov. Najden ni bil noben velik meteoritski krater podobne starosti in prav tako ni nobenih prepričljivih sledi o trku v sedimentnih kamninah iz permsko-triasne meje (FRENCH & KOEBER, 2010). Danes je splošno sprejeto, da so glavni krivci za izumrtje ob koncu perma siloviti vulkanski izbruhi na področju današnje Sibirije, ki so po ocenah izbruhali kar 2 milijona km³ bazaltne lave (REICHOW *et al.*, 2002). Naj za primerjavo navedemo izbruh Tambore leta 1815 (največji zabeležen vulkanski izbruh), ki je izbruhnil »pičlih« 160 km³ vulkanskega materiala in povzročil vulkansko zimo ter posledično najhujšo lakoto v 19. stoletju (OPPENHEIMER, 2003). Lava orjaških vulkanskih izbruhov na področju današnje Sibirije je prekrila 1,6 milijona km² veliko področje vzhodne Rusije in ustvarila plast vulkanskih kamnin z debelino od 400 m pa vse do 3000 m (BENTON & TWITCHETT, 2003). Te ogromne sibirske izbruhe so z novimi radiometričnimi metodami datirali točno na permsko-triasno mejo (pred 251 milijoni let).

Starostni razpon bazalta od dna pa do vrha plasti je 600.000 let, kar gledano v geološkem smislu pomeni, da se je dogodek zgodil tako rekoč preko noči (BOWRING *et al.*, 1998; RENNE *et al.*, 1995; MUNDIL *et al.*, 2001). Nekateri znanstveniki so trdili, da je izbruhe povzročil trk ogromnega bolida, ki naj bi se zaril globoko v zemeljsko skorjo današnje Sibirije (JONES *et al.*, 2002). Vendar narava teh izbruhov v ničemer ne kaže, da se je to zgodilo. Nobenih dokazov ni, da bi trk bolida povzročil kateri koli izbruh na Zemlji ali na katerem koli drugem planetu (ERWIN *et al.*, 2002; WHITE, 2002).

Povsod po svetu so v kamninah na permsko-triasni meji ugotovili, da je prišlo do znatnega povečanja vsebnosti lahkega ogljikovega izotopa ^{12}C (HALLAM & WIGNALL, 1997; WIGNALL, 2001; ERWIN *et al.*, 2002; WIGNALL & TWITCHETT, 1996; WIGNALL & TWITCHETT, 2002). Geologi in drugi raziskovalci, ki se ukvarjajo z atmosferskimi modeli, so se zelo trudili pojasniti vzrok za tako močno povečanje. Niti nenadno uničenje vsega življenja na Zemlji in posledično spiranje ^{12}C v oceane niti ves ogljikov dioksid, ki se je sprostil pri orjaških vulkanskih izbruhih na področju današnje Sibirije, ne bi zadostovala za povečanje vsebnosti ^{12}C , ki so ga izmerili. Nekaj je manjkalo in ta povzročitelj je moral biti dovolj močan, da je lahko premagal vse normalne atmosferske uravnavne mehanizme. Danes so si znanstveniki enotni (WIGNALL, 2001; ERWIN *et al.*, 2002; WHITE, 2002; BERNER, 2002), da je edini do sedaj znani možni povzročitelj metan, ki se nahaja v obliki zamrznjenih plinskih hidratov na morskem dnu. Globalno segrevanje, ki so ga povzročili orjaški vulkanski izbruhi na področju današnje Sibirije, je povzročilo sproščanje metana iz zamrznjenih hidratov in ogromne količine metana, bogatega s ^{12}C , so se dvignile z oceanskega dna na površje. Metan, ki se je sprostil, je še dodatno segreval ozračje in po principu pozitivne povratne zanke so se topile še večje količine zamrznjenih plinskih hidratov. Prišlo je do t. i. pobeglega učinka tople grede. Neke vrste prag, do katerega so lahko naravni mehanizmi uravnavali in zniževali količino ogljikovega dioksida, je bil

presežen in smrtonosna spirala, ki se je začela odvijati s sproščanjem metana, je pripeljala do največjega zloma v zgodovini življenja na Zemlji (BENTON & TWITCHETT, 2003).

Zgornjepermske kamnine tik pod mejo s triasom kažejo, da je v morju kar mrgolelo od življenja. Močno so bioturbirane, kar kaže na vrsto bentoških živali, ki so živele, se hranile in gibale v sedimentu. Po izumrtju pa se je, nasprotno, zelo razširilo odlaganje temno obarvanih sedimentov, polnih pirita z redkimi sledmi lazenja in redkimi ostanki nevretenčarjev (BENTON & TWITCHETT, 2003). Ta opažanja skupaj z geokemičnimi dokazi kažejo na izrazito spremembo pogojev na oceanskem dnu iz dobro prezračenega morskega dna v močno pomanjkanje kisika (WIGNALL & TWITCHETT, 1996; WIGNALL & TWITCHETT, 2002). Povečana kislost in anoksične razmere so bile najusodnejše za organizme s kalcitnim ali aragonitnim skeletom, kot so na primer korale, mahovnjaki in ramenonožci. Manjši vpliv pa so spremembe imele na organizme, ki imajo sposobnost fiziološkega uravnavanja izmenjave plinov (na primer školjke) (FRASER, 2006). Pred katastrofo je bila oceanska favna razdeljena na različna vrstno bogata biogeografska področja. Po njej pa je celotne oceane in morja poseljevala le peščica oportunističnih vrst (REICHOW *et al.*, 2002).

Izumiranje na kopnem in v morju je potekalo hkrati (TWITCHETT *et al.*, 2001). Pred katastrofo je bilo življenje na kopnem izjemno raznoliko. Kopenska terapodna favna (dvoživke in plazilci) je dosegla visoko stopnjo raznovrstnosti in kompleksnosti, ki se lahko primerja celo s kompleksnostjo današnjih sesalskih skupnosti (BENTON, 2005; RETALLACK, 1999). Številne skupine rastlin so tvorile raznolika življenjska okolja. Del flore je bil endemičen, kar kaže na geografsko diferenciacijo glede na klimatska območja (RETALLACK, 1999). Izumiranje terapodov je nekoliko bolje dokumentirano v Južni Afriki, kjer kaže, da je bilo izumiranje hitro (SMITH & WARD, 2001). Na kopnem je z marsikaterega področja spralo prst, tako da so bile glive edini preživeli organizmi. V Italiji in Izraelu so ugotovili, da ostanki gliv pred

katastrofo predstavljajo 10 % peloda in spor. V plasteh iz časa katastrofe in po njen pa dosežejo ostanki gliv skoraj 100 % vseh spor in peloda (ESHET *et al.*, 1995).

Življenje na Zemlji je bilo pred 251,4 milijoni leti že skoraj popolnoma uničeno. Na srečo je 5 % vrst preživel (RAUP, 1979). Trajalo je celih 100 milijonov let, da se je svetovna biodiverziteteta na stopnji družin povrnila na stopnjo pred izumrtjem (HALLAM & WIGNALL, 1997). Na srečo je bilo okrevanje okolja hitrejše in zapletene grebenske združbe so se pojavile že v srednjem triasu, približno 10 milijonov let po katastrofi (BENTON & TWITCHETT, 2003). Za začetek triasa je bila značilna zelo majhna raznolikost morske in tudi kopenske favne. Okolje v začetku triasa je bilo tako prazno igrišče, ki komaj čaka na eksplozijo evolutijske aktivnosti (FRASER, 2006).

Delež izumrlih rodov morskih nevretenčarjev po skupinah na meji med permom in triasom.

Foraminifere	97 %
Radiolariji	99 %
Koralnjaki	96 %
Mahovnjaki	79 %
Ramenonožci	96 %
Školjke	59 %
Polži	98 %
Glavonožci	97 %
Morske lilije	98 %
Blastoidi	100 %
Trilobiti	100 %
Morski škorpijoni	100 %
Ostrakodi	59 %

- BENTON, M. J., TWITCHETT, R. J. 2003: How to kill (almost) all life: the end-Permian extinction event. *Trends in Ecology and Evolution*, 18 (7): 358–365.
- BENTON, M. J. 2005: When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time. Thames & Hudson.
- BERNER, R. A. 2002: Examination of hypotheses for the Permo–Triassic boundary extinction by carbon cycle modeling. *Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 99: 4172–4177.
- BOWRING, S. A., ERWIN, D. H., JIN, Y. G., MARTIN, M.W., DAVIDEK, K., WANG, W. 1998: U/Pb zircon geochronology and tempo of the end-Permian mass extinction. *Science*, 280: 1039–1045.
- ERWIN, D. H., BOWRING, S. A., JIN, Y. 2002: End-Permian mass extinctions: a review. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 356: 363–383.
- ESHET, Y., RAMPINO, M. R., VISSCHER, H. 1995: Fungal event and palynological record of ecological crisis and recovery across the Permian–Triassic boundary. *Geology*, 23 (11): 967–970.
- FRASER, N. C. 2006: Down of the Dinosaurs: life in the Triassic, Indiana University Press.
- FRENCH, B. M., KOEBER, C. 2010: The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why. *Earth-Science Reviews*, 98: 123–170.
- HALLAM, A., WIGNALL, P. B. 1997: Mass Extinctions and Their Aftermath. Oxford Univ. Press, Oxford.
- HALLAM, A., WIGNALL, P. B. 1999: Mass extinctions and sea-level changes. *Earth-Science Reviews*, 48: 217–250.
- JIN, Y. G., WANG, Y., WANG, W., SHANG, Q. H., CAO, C. Q., ERWIN, D. H. 2000: Pattern of Marine Mass Extinction Near the Permian–Triassic Boundary in South China. *Science* 289 (5478): 432–436.
- JIN, Y., ZHANG, J., SHANG, Q. 1994: Two phases of the end-Permian mass extinction. *Can. Soc. Pet. Geol. Mem.*, 17, 813–822.
- JONES, A. P., PRICE, G. D., PRICE, N. J., DECARLI, P. S., CLEGG, R. A. 2002: Impact induced melting and the development of large igneous provinces. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 202 (3-4): 551–561.
- MUNDIL, R., METCALFE, I., LUDWIG, K. R., RENNE, P. R., OBERLI, F., NICOLL, R. S. 2001: Timing of the Permian–Triassic biotic crisis: implications from new zircon U/Pb age data (and their limitations). *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 187 (1-2): 131–145.
- OPPENHEIMER, C. 2003: Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815. *Progress in Physical Geography*, 27 (2): 230–259.

- OTA, A., ISOZAKI, Y. 2006: Fusuline biotic turnover across the Guadalupian–Lopingian (Middle–Upper Permian) boundary in mid-oceanic carbonate buildups: Biostratigraphy of accreted limestone in Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26 (3–4): 353–368.
- RAMPINO, M. R., PROKOPH, A., ADLER, A. 2000: Tempo of the end-Permian event: High-resolution cyclostratigraphy at the Permian–Triassic boundary. *Geology*, 28 (7): 643–646.
- RAUP, D. M. 1979: Size of the Permo–Triassic bottleneck and its evolutionary implications. *Science*, 206: 217–218.
- REICHOW, M. K., SAUNDERS, A. D., WHITE, R. V., PRINGLE, M. S., AL'MUKHAMEDOV, A. I., MEDVEDEV, A. I., KIRDA, N. P. 2002: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dates from the West Siberian Basin: Siberian flood basalt province doubled. *Science*, 296: 1846–1849.
- RENNE, P. R., BLACK, M. T., ZICHAO, Z., RICHARDS, M. A., BASU, A. R. 1995: Synchrony and causal relations between Permo–Triassic boundary crises and Siberian Flood Volcanism. *Science*, 269: 1413–1416.
- RETALLACK, G. J. 1999: Postapocalyptic greenhouse paleoclimate revealed by earliest Triassic paleosoils in the Sydney Basin, Australia. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 111: 52–70.
- RETALLACK, G. J., METZGER, C. A., GREAVER, T., JAHREN, A. H., SMITH, R. M. H., SHELDON, N. D. 2006: Middle–Late Permian mass extinction on land. *Bulletin of the Geological Society of America*, 118 (11–12): 1398–1411.
- SHEN, S., SHI, G. R. 1996: Diversity and extinction patterns of Permian Brachiopoda in South China. *Hist. Biol.*, 12: 93–110.
- SHEN, S., SHI, G. R. 2002: Paleobiogeographical extinction patterns of Permian brachiopods in the Asian–western Pacific region. *Paleobiology*, 28: 449–463.
- SMITH, R. M. H., WARD, P. D. 2001: Pattern of vertebrate extinctions across an event bed at the Permian–Triassic boundary in the Karoo Basin of South Africa. *Geology*, 29: 1147–1150.
- STANLEY, S. M., YANG, X. 1994: A Double Mass Extinction at the End of the Paleozoic Era. *Science*, 266 (5189): 1340–1344.
- TWITCHETT, R. J., LOOY, C. V., MORANTE, R., VISSCHER, H., WIGNALL, P. B. 2001: Rapid and synchronous collapse of marine and terrestrial ecosystems during the end-Permian biotic crisis. *Geology*, 29 (4): 351–354.
- WANG, X. -D., SUGIYAMA, T. 2000: Diversity and extinction patterns of Permian coral faunas of China. *Lethaia*, 33 (4): 285–294.
- WARD, P. D., BOTHA, J., BUICK, R., DE KOCK, M. O., ERWIN, D. H., GARRISON, G. H., KIRSCHVINK, J. L., SMITH, R. 2005: Abrupt and Gradual Extinction Among Late Permian Land Vertebrates in the Karoo Basin, South Africa. *Science*, 307 (5710): 709–714.
- WHITE, R. V. 2002: Earth's biggest 'whodunnit': unravelling the clues in the case of the end-Permian mass extinction. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, 360: 2963–2985.
- WIGNALL, P. B. 2001: Large igneous provinces and mass extinctions. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 53: 1–33.
- WIGNALL, P. B., TWITCHETT, R. J. 1996: Oceanic anoxia and the end Permian mass extinction. *Science*, 272: 1155–1158.
- WIGNALL, P. B., TWITCHETT, R. J. 2002: Extent, duration, and nature of the Permian–Triassic superanoxic event. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 356: 395–413.