

Hrvatska geološka ljetna škola

3. proljetni seminar za učitelje i nastavnike geografije u osnovnim i srednjim školama Republike Hrvatske

Godina VI.

Zagreb,
18. travnja 2017.

Knjiga predavanja

Urednici:

Josipa Velić, Tomislav Malvić, Jasenka Sremac, Ivo Velić

Impresum

Izdavač: Hrvatska geološka ljetna škola, 2017.

Za izdavača: Ivo Velić, predsjednik Udruge

Urednici: Josipa Velić, Tomislav Malvić, Jasenka Sremac, Ivo Velić

Naklada: e-knjiga

ISBN: 978-953-58069-1-2

Napomena

Sva prava pridržana, HGLJŠ, 2017.

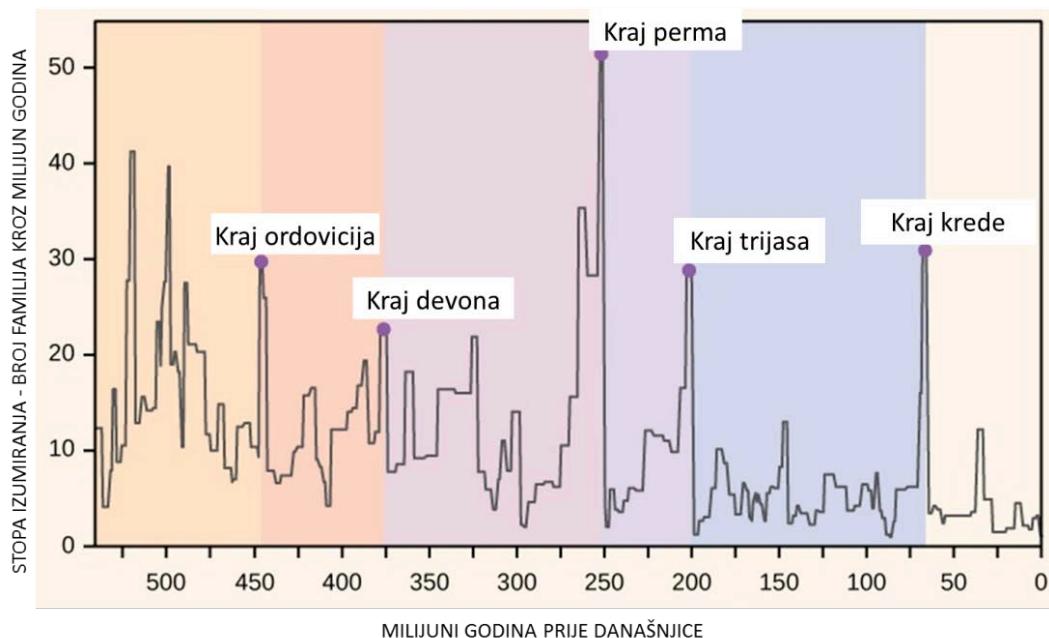
UZROCI I POSLJEDICE MASOVNIH IZUMIRANJA TIJEKOM GEOLOŠKE PROŠLOSTI

«OKIDAČI» PET MASOVNIH IZUMIRANJA TIJEKOM GEOLOŠKE PROŠLOSTI

Jasenka SREMAC

Pod pojmom **masovno izumiranje (biotička kriza, kriza biodiverziteta)** podrazumijevamo globalni i brzi pad biodiverziteta na Zemlji, koji se najviše očituje kroz naglu promjenu raznolikosti i broja višestaničnih organizama. Pojavljuje se u razdobljima kada brzina izumiranja prijeđe brzinu specijacije (RAUP i SEPkoski, 1982; HALLAM i WIGNALL, 1997; HULL i DARROCH, 2013). Pri tome ne uzimamo u obzir raznolikost i biomasu mikroba, koji čine većinu biomase na Zemlji, jer je njihovo postojanje samo ponekad prepoznatljivo u fosilnom zapisu.

Masovna se izumiranja na Zemlji događaju u nepravilnim vremenskim razmacima (**slika 1**), a u međuvremenu se događaju "pozadinska" izumiranja dinamikom od dvije do pet familija morskih organizama svakih milijun godina. Znanstvenici procjenjuju da je, od postanka života na Zemlji do danas, izumrlo više od 90 % svih nekad živućih vrsta biljaka i životinja. Nakon velikih izumiranja život se na Zemlji obnavlja u novom obliku, naseljavajući ispraznjene ekološke niše (**poveznica 1**).



*Slika 1 : Velika izumiranja geološke prošlosti
(poveznica 2)*

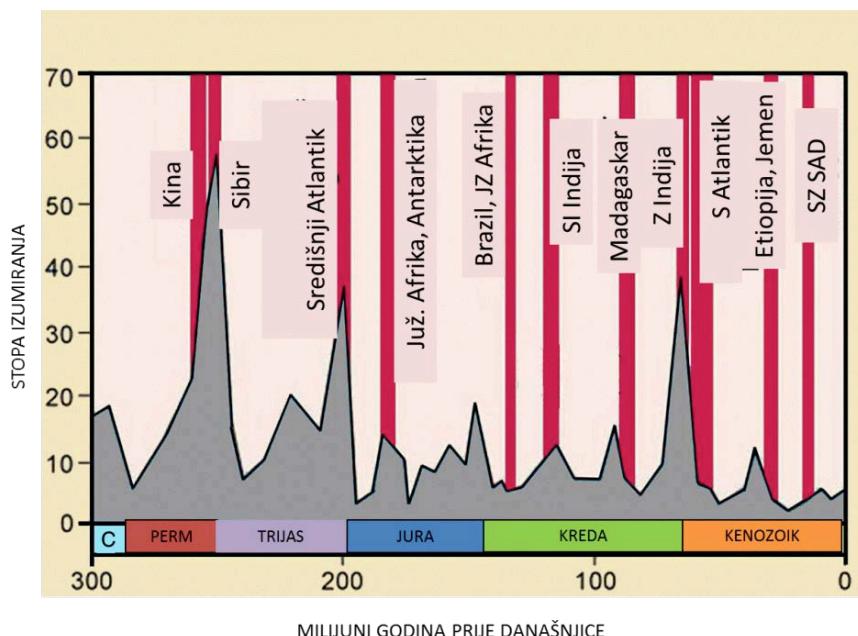
Tijekom fanerozoika Zemlja je prošla kroz nekoliko velikih izumiranja. Bilo ih je najmanje pet, a neki znanstvenici ovoj kategoriji pribrajaju i dvadesetak biotičkih kriza (**slika 1**).

1. STRESNI DOGAĐAJI KOJI MOGU DOVESTI DO MASOVNOG IZUMIRANJA

Znanstvenici vode mnoge rasprave o uzrocima masovnih izumiranja, no većina prihvata mišljenje da se krize biote događaju u vrijeme kad je biosfera izložena dugoročnemu stresu, pa dodatno doživi iznenadnu katastrofu (ARENS i WEST, 2006). Zabilježeni katastrofični događaji koji se poklapaju s izumiranjima su masivni bazaltni izljevi, globalni pad morske razine i asteroidni impakti.

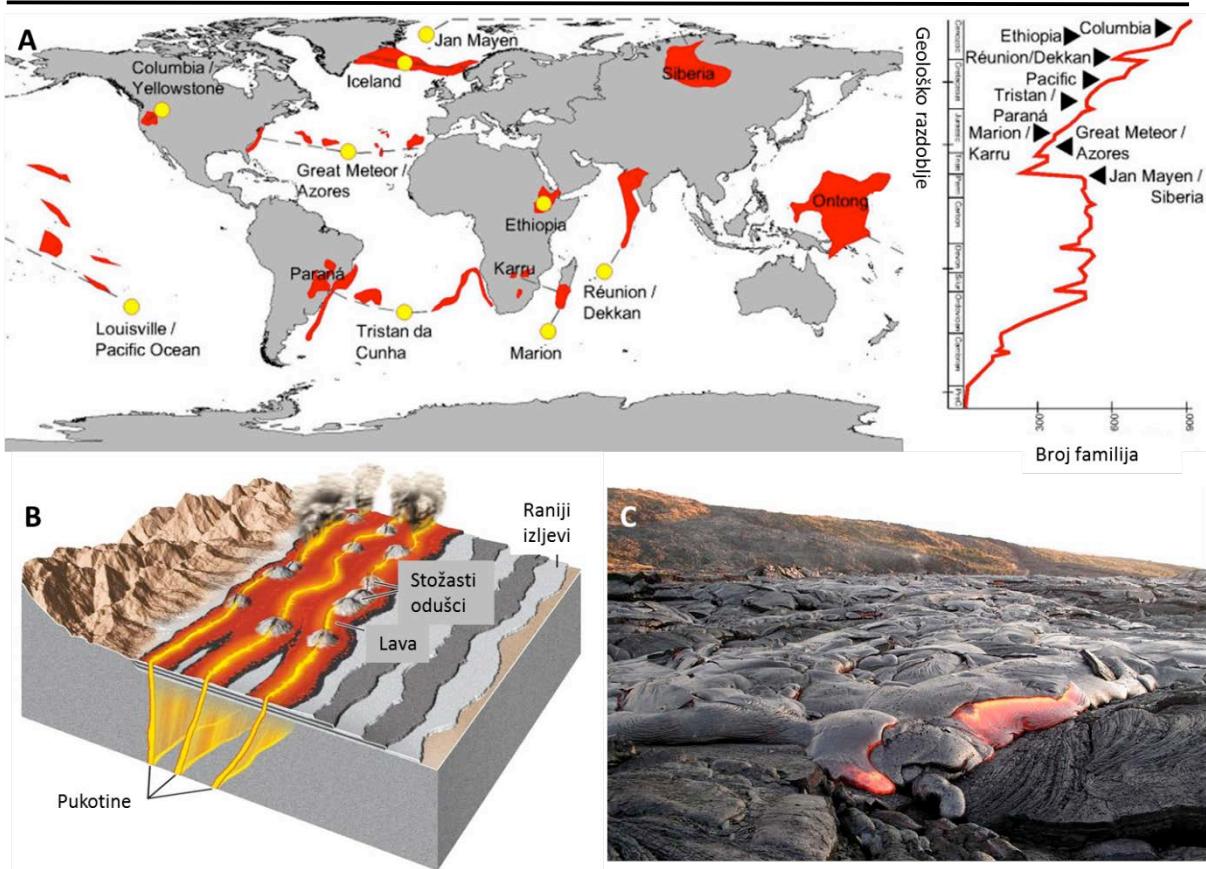
1.1. Bazaltni izljevi

Pojavljuju se u pulsirajućem ritmu, nakon dugih razdoblja mirovanja (**slika 2**). Veliki bazaltni izljevi dijelom se nalaze u podmorju. Kontinentalne masivne izljeve u Sibiru i Indiji (Dekkan) povezujemo s masovnim izumiranjima u geološkoj prošlosti (**slika 3**).



Slika 2: Glavni bazaltni izljevi od perma do danas.

(Crtež: S. Drury, **poveznica 3**)



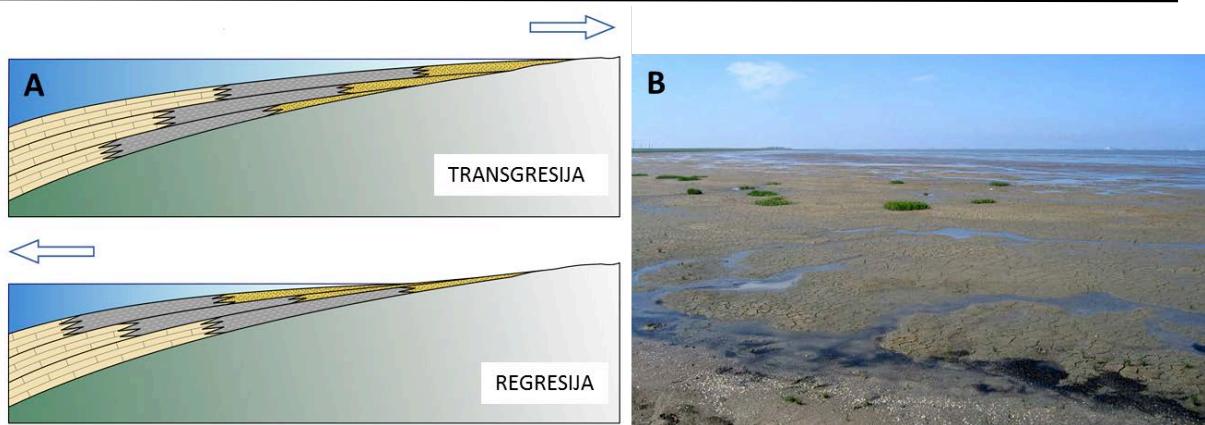
Slika 3: A. Veliki bazaltni izljevi na Zemlji (crveno) (BRESSAN, 2011). B. Blok-dijagram koji pokazuje kako se nadograđaju bazaltne terase izljevanjem lave duž izduljenih pukotina (poveznica 4). C. Hlađenje lave na Havajima (poveznica 5)

Bazaltni izljevi utječu na biosferu na sljedeći način:

- Proizvode prašinu i aerosolne čestice, čime onemogućuju fotosintezu, te dolazi do kolapsa hranidbenih lanaca na kopnu i u morima,
- Ispuštaju sumporne okside, koji čine oborine kiselim i doprinose dalnjem kolapsu prehrambenoga lanca,
- Ispuštaju ugljikov dioksid, koji će, nakon što se prašina i aerosolne čestice istalože, dovesti do globalnoga zatopljenja.

1.2. Globalni pad morske razine

Ovakvi su događaji zabilježeni više puta tijekom geološke prošlosti, a prepoznatljivi su diljem svijeta u taložnim sljedovima (slika 4).



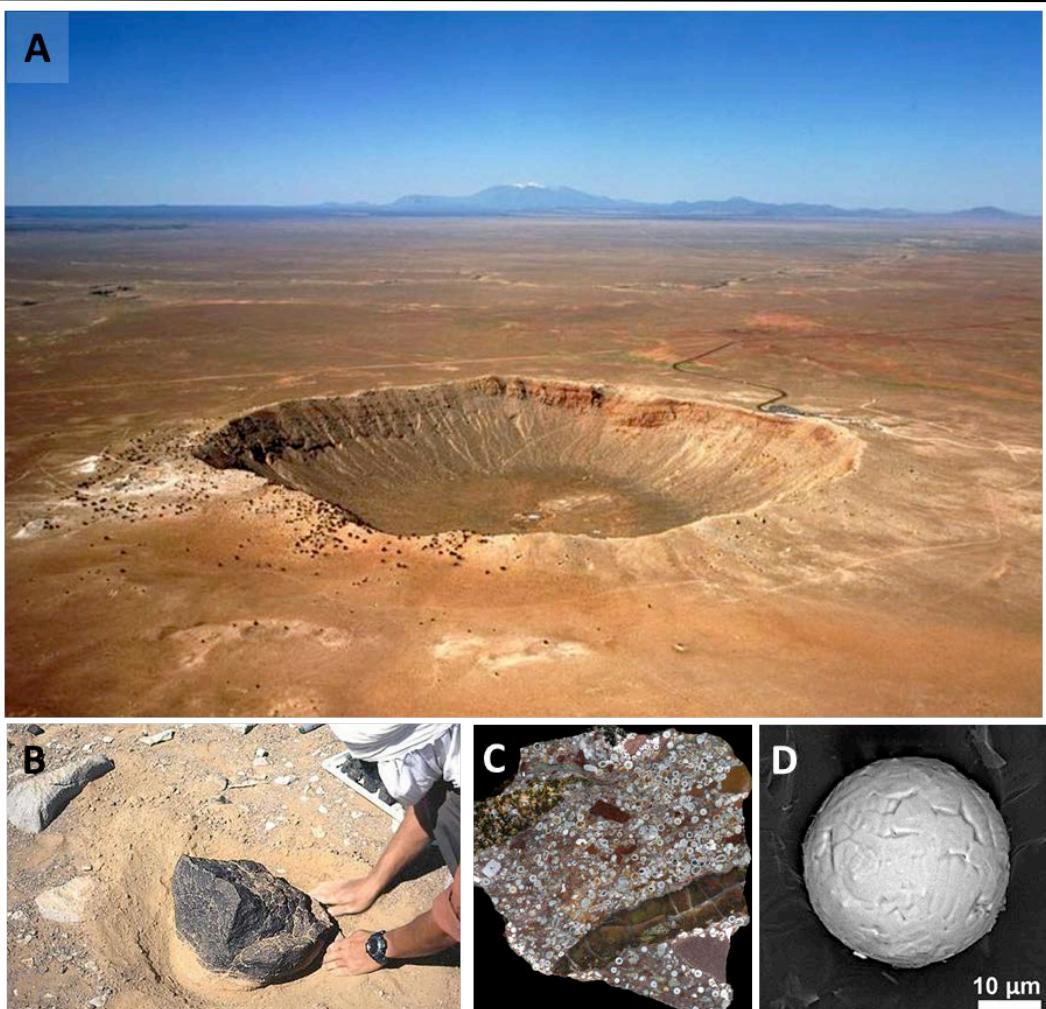
Slika 4: A. Shematski prikaz porasta i pada morske razine (poveznica 6); B. Plimna ravnica na sjeveru Njemačke u vrijeme oseke (poveznica 7)

Na otvorenim profilima (npr. u kanjonima, kamenolomima, usjecima prometnica) u stijenama je vidljiva postupna promjena taložnih okoliša, od dubokomorskih, preko plikomorskih, sve do plažnih i, konačno, kopnenih. Pad morske razine može biti posljedica niza uzroka (npr. zarobljavanja velike količine vode u ledenom pokrovu). Zbog regresije smanjuje se površina kontinentskih šelfova, na kojima se bioprodukcijom (proizvodnjom mineralnih skeleta) kontrolira globalni ciklus ugljika, a time i klimatski uvjeti.

1.3. Impakti

Sila teže neprekidno privlači nebeska tijela koja se nađu u blizini Zemlje. Dok manja izgaraju u atmosferi, dijelovi većih tijela mogu dospjeti do Zemljine površine (**slika 5**). Udar velikoga asteroida ili kometa može proizvesti golemu količinu prašine i aerosola, zastrijeti Sunce i dovesti do kolapsa hranidbenoga lanca. Zemljom se mogu proširiti požari epskih razmjera, a moguća je i pojava megatsunamija.

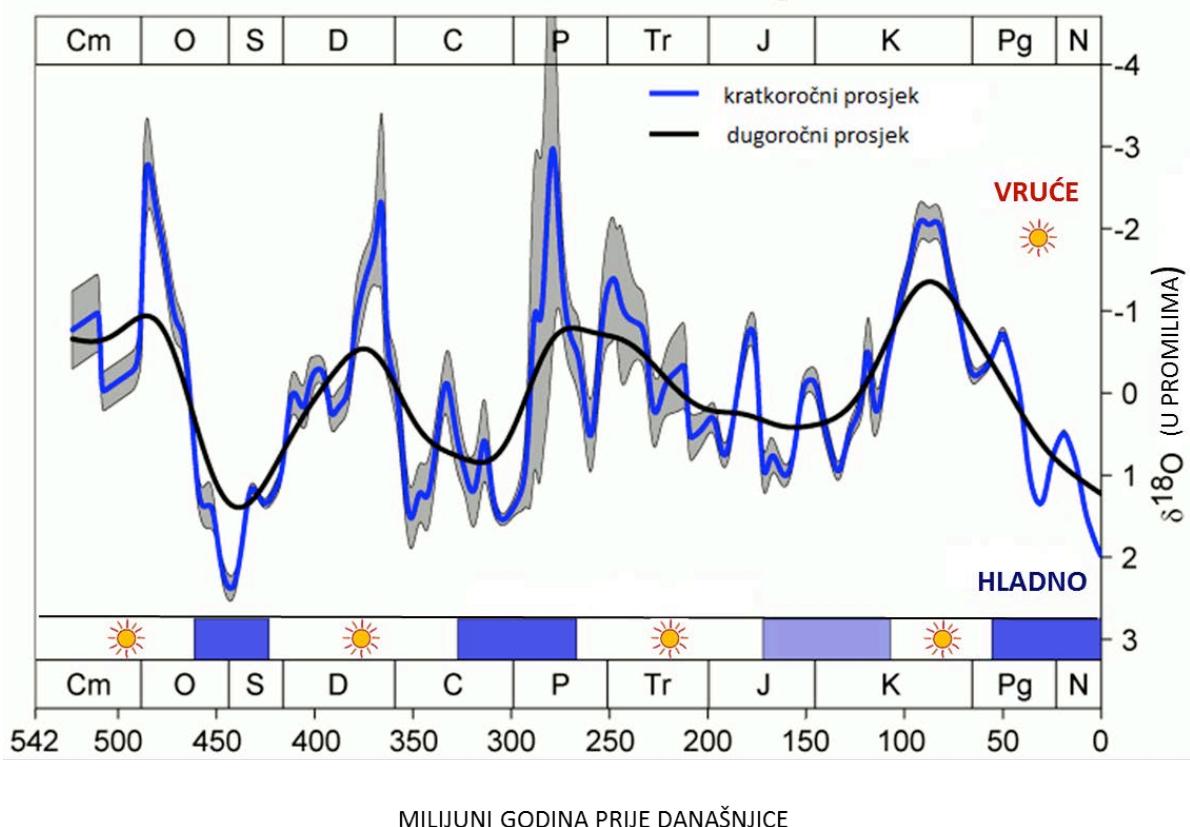
Na Zemlji se mogu naći dijelovi meteorita, a ponekad i krateri (**slika 5**). Veliki udarni krateri iz geološke prošlosti nisu uvijek vidljivi na površini Zemlje (npr. mogu biti pokriveni mlađim naslagama) no rastaljene kapljice, sferule, mogu se naći raspršene u stijenama (JOHNSON & MELOSH, 2012) (**slika 5**). O asteroidima kao uzročnicima masovnih izumiranja možete pročitati detaljnije u zasebnome poglavljju.



Slika 5: A. Barringerov krater u Arizoni (poveznica 8). B. Meteorit u Sahari (poveznica 9). C. Impaktne sferule u stijeni, Zapadna Australija (poveznica 10). D. Mikrofotografija magnetitne sferule koja je nastala impaktom prije 12.800 g., New Meksiko (poveznica 11)

1.4. Znakovita promjena klime (zahladnjenje ili zatopljenje)

Tijekom geološke prošlosti klima se neprekidno mijenjala. Kroz dulja razdoblja možemo te promjene objediniti, pa klimatsku povijest Zemlje podijeliti na "staklenička" i "ledenjačka" megarazdoblja (**slika 6**).



Slika 6: Vruća (označena suncem) i hladna (plavo) razdoblja u povijesti Zemlje (poveznica 12)

Globalna zahladnjenja uzrokuju izumiranje ili migraciju prema ekvatoru brojnih vrsta polarnih i umjerenih staništa. Zbog zarobljavanja vode u ledenom pokrovu, ledena su doba redovito popraćena sušom.

Globalna zatopljenja imaju suprotan efekt. Proširuje se tropski pojas, dok umjerene vrste nestaju ili migriraju prema polovima. Istovremeno polarne vrste gube staništa, njihov broj pada ili izumiru. Klima često postaje vlažnija, zbog otapanja snijega i leda. Kao popratna pojava pojavljuje se i raslojavanje oceanske vode i oceanska anoksija (WARD i sur., 2005).

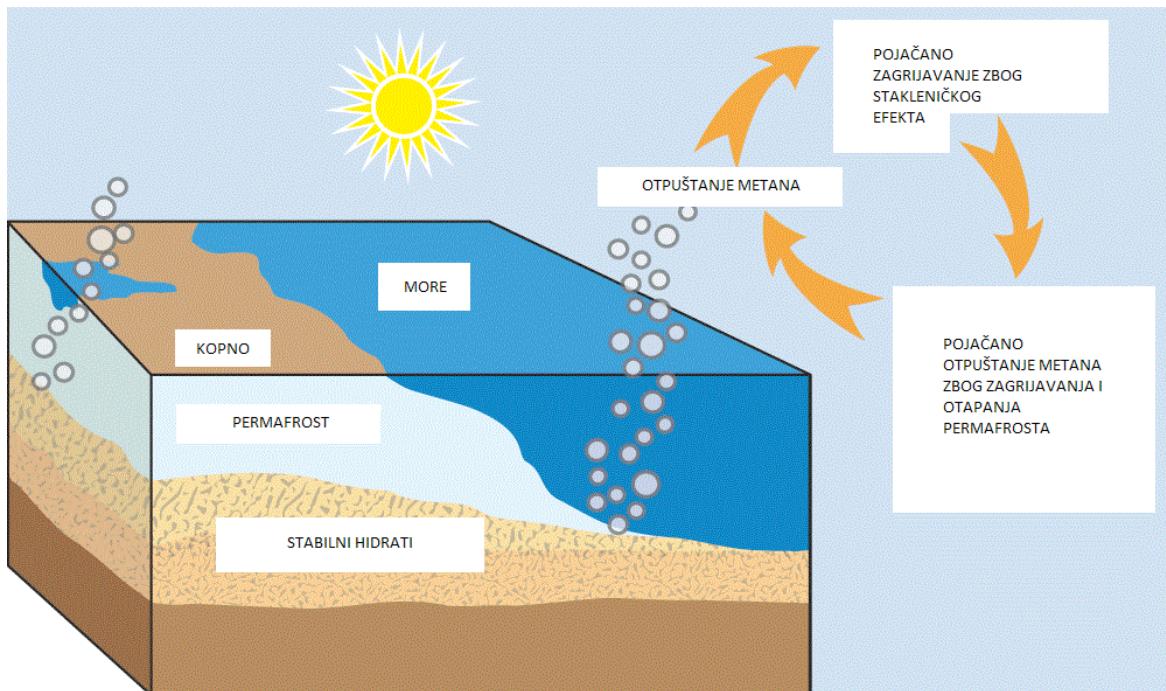
1.5. Metanski udar

Velike količine metana nalaze se zarobljene na morskome dnu. Zbog zatopljenja se oslobađaju i, u obliku mjejhura, putuju prema površini (slike 7 i 8). Taj plin ima 30 puta jače djelovanje od CO₂ i stvara efekt staklenika.

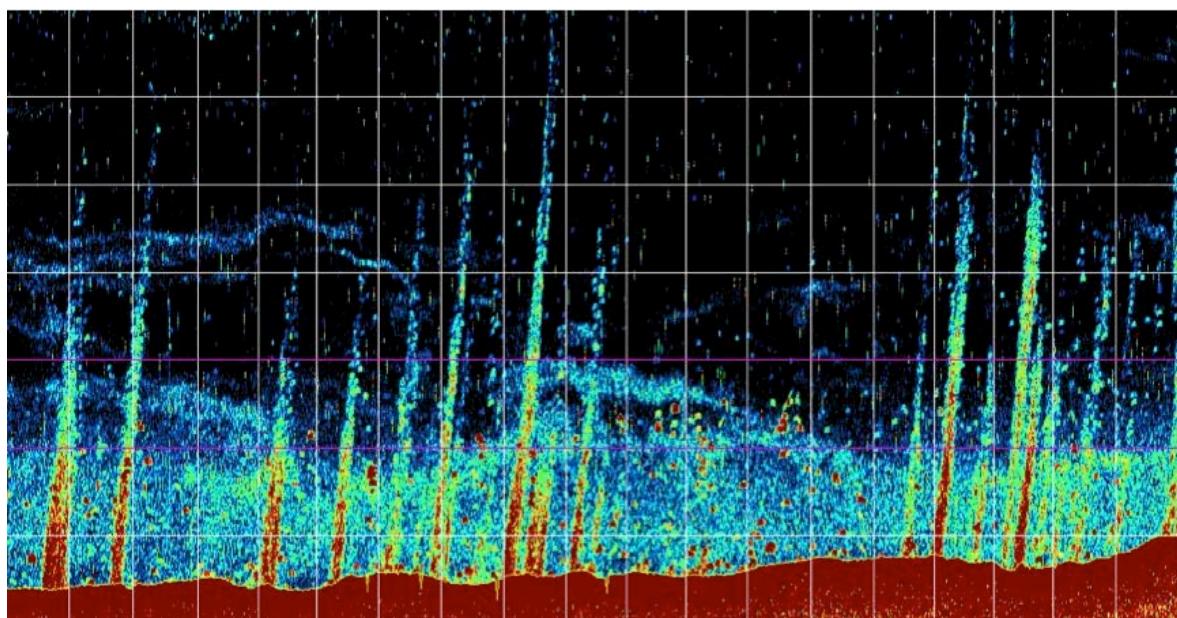
Kod naglog porasta temperature ili pada morske razine, pa čak i pri snažnijim potresima, može doći do oslobađanja velike količine metana, koji, kao staklenički plin, može jako ubrzati proces zatopljavanja. Kad bi se otpustile sve zalihe metana, globalna bi temperatura porasla za

6°C, dok bi temperatura na polovima skočila čak za 12°C. Ledene bi se kape otopile, a, pri najgorem scenariju, globalna bi se morska razina podigla za 80 m.

Prepostavlja se da su metanske erupcije u nekoliko navrata utjecale na biotičke krize u Zemljinoj prošlosti. U sedimentnim stijenama ih možemo prepoznati po naglome negativnom skoku u omjeru ugljika-12 i ugljika-13.



Slika 7: Zbog otapanja permafrosta dolazi do otpuštanja metana na dnu Arktičkog oceana
([poveznica 13](#))

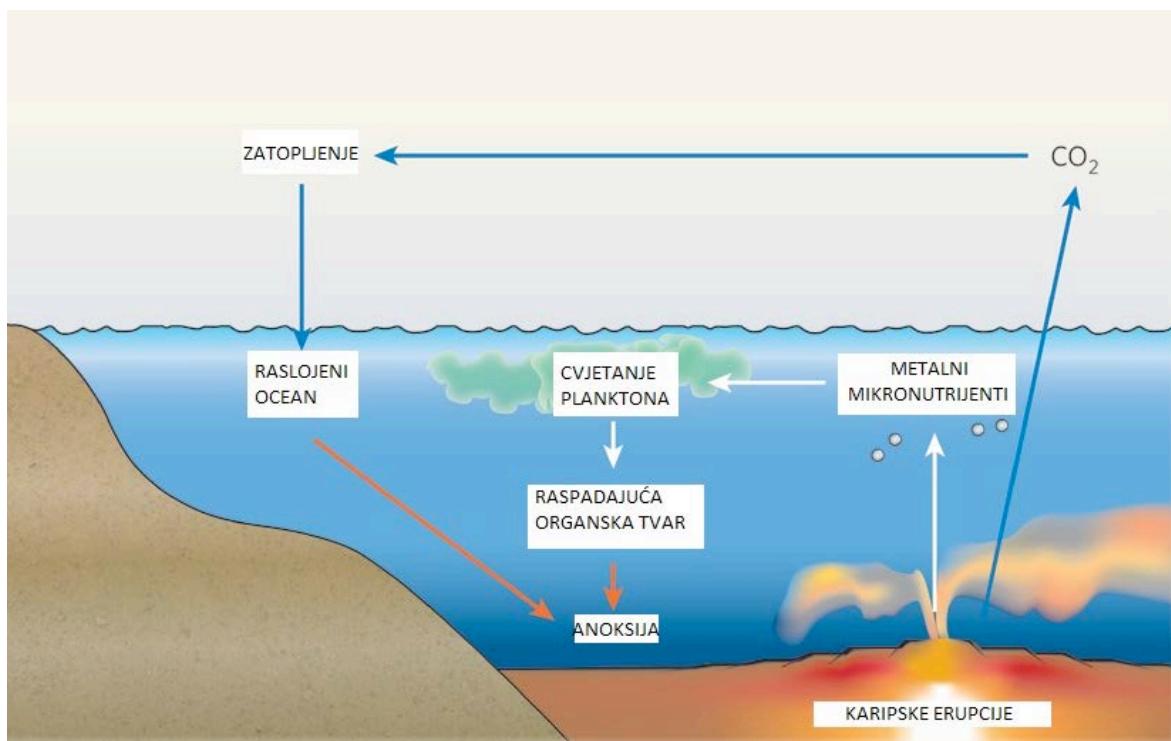


Slika 8: Otpuštanje metana zbog razlaganja hidrata zabilježeno sonarom na zapadnom Svalbardu ([THATCHER i sur., 2013](#))

1.6. Anoksični događaji i promjena oceanske cirkulacije

Tijekom anoksičnih događaja dolazi do manjka kisika u srednjim, pa čak i gornjim slojevima oceansa. Raslojavanje oceanske vode i anoksija ispod termokline, zabilježeni su i u današnjim okolišima. Takve se epizode povezuju s naglim globalnim zatopljenjem, najčešće izazvanim masivnim vulkanizmom (**slika 9**).

Na početku i na kraju oledbi također su zabilježeni poremećaji u termohalinoj cirkulaciji. Slana površinska voda tone i potiskuje dubokomorsku vodu, siromašnu kisikom na površinu. Na taj način stradavaju organizmi koji nastanjuju površinske i srednje slojeve vode, inače bogate kisikom.

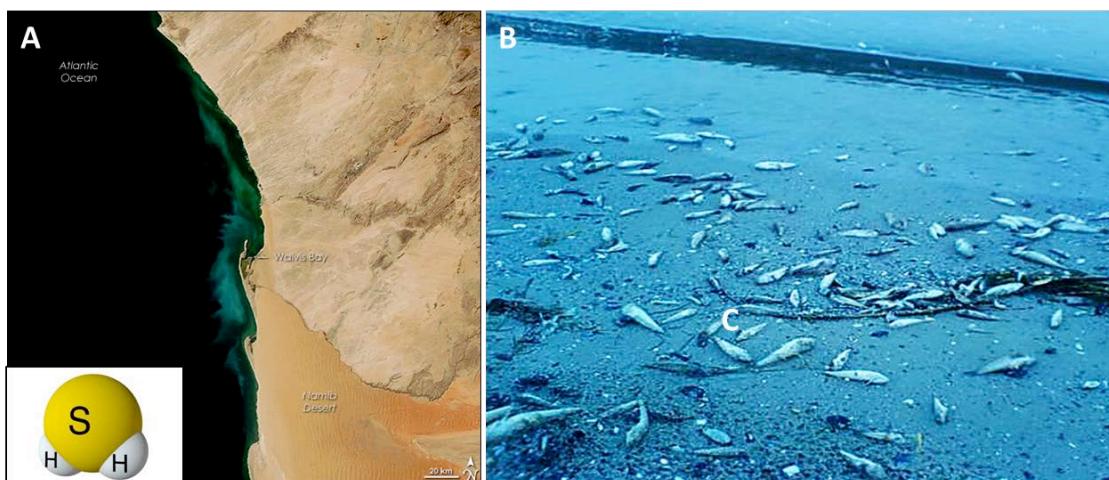


Slika 9: Model anoksije na području Kariba tijekom razdoblja krede (TURGEON i CREASER, iz BRALOWER, 2008)

Na anoksiju nas upućuju taložine crnih šejlova, no one mogu predstavljati i lokalnu pojaviu. Na globalnoj razini anoksične događaje prati selenova anomalija. Zbog konverzije topljivih selenata u slabije topljive selenide (Se^{2+}) dostupnost selena tijekom izumiranja pada na toksičnih oko 1% današnje koncentracije.

1.7. Otpuštanje sumporovodika iz mora

Zbog velikog zatopljenja može se narušiti ravnoteža između fitoplanktona (photosinteza) i dubokomorskih sulfat-reducirajućih bakterija, što može dovesti do masivnih emisija sumporovodika, trovanja organizama i, dodatno, slabljenja ozonskog sloja i smrtonosnih doza UV radijacije.



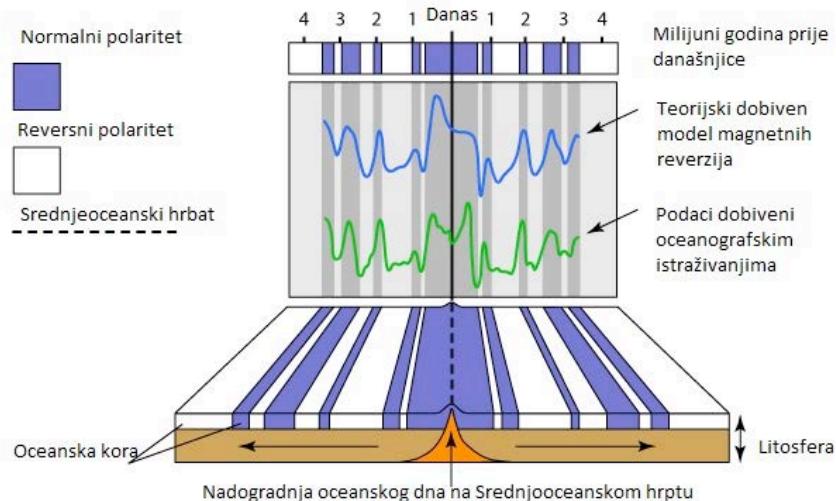
Slika 10: A. Zbog emisije sumporovodika, površinske vode uz obale Namibije su obojane zelenom bojom (poveznica 14). B. Masovni pomor riba na obalama Crnog mora zbog sumporovodika (plaža Koblevo) 2012. godine (poveznica 15)

1.8. Izboji gama-zraka

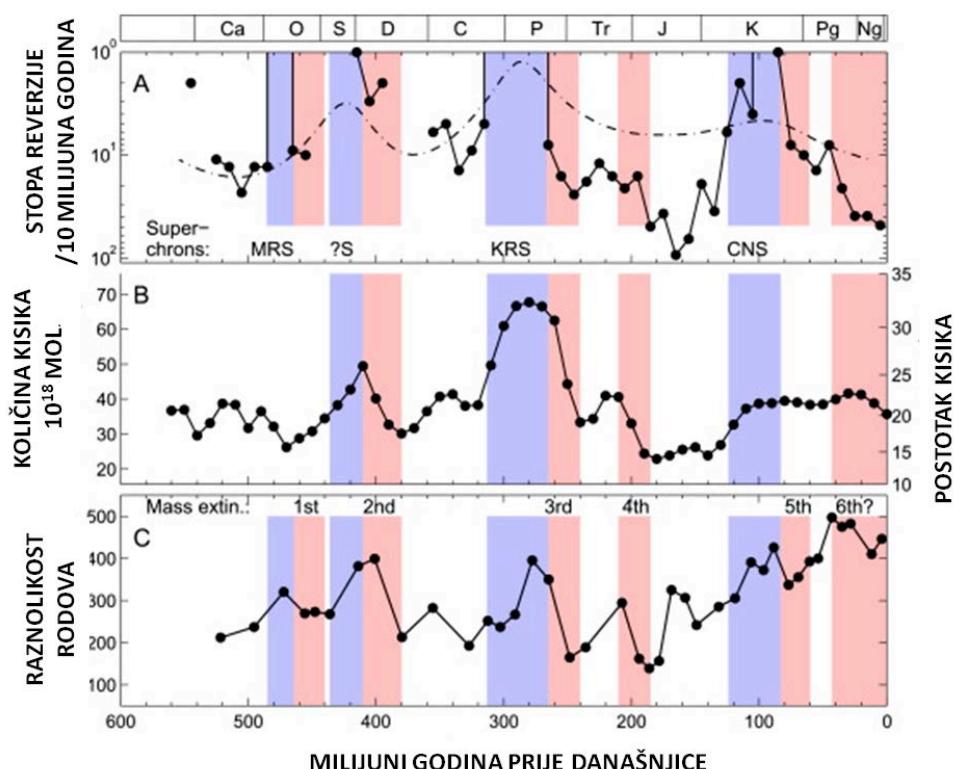
Snažan izboj gama-zraka na udaljenosti manjoj od 6000 svjetlosnih godina mogao bi uništiti Zemljin ozonski sloj i izložiti organizme UV zračenju sa Sunca. Kratki bljeskovi gama-zraka (kraći od 2 sekunde) nastaju u sudaru neutronskih zvijezda. Dugi izboji (obično traju oko 3 minute) nastaju eksplozijom velikih zvijezda, a posljedica je nastanak crnih rupa. Nekoliko dugih bljeskova otkriveno je između 2010. i 2012., a najduži zabilježeni izboj trajao je 7 sati (poveznica 16).

1.9. Promjena položaja magnetnih polova

Promjene magnetnih polova prirodni su geološki fenomen i događale su se više stotina puta u povijesti Zemlje. Promjene Zemljinoga polariteta najbolje se očituju na mjestu prirasta oceanske kore, na Srednjeatlantskom hrptu (slika 11).



Slika 11: Magnetni profil kroz Srednjoatlantski hrbat, s vidljivim promjenama polariteta Zemlje (poveznica 17)

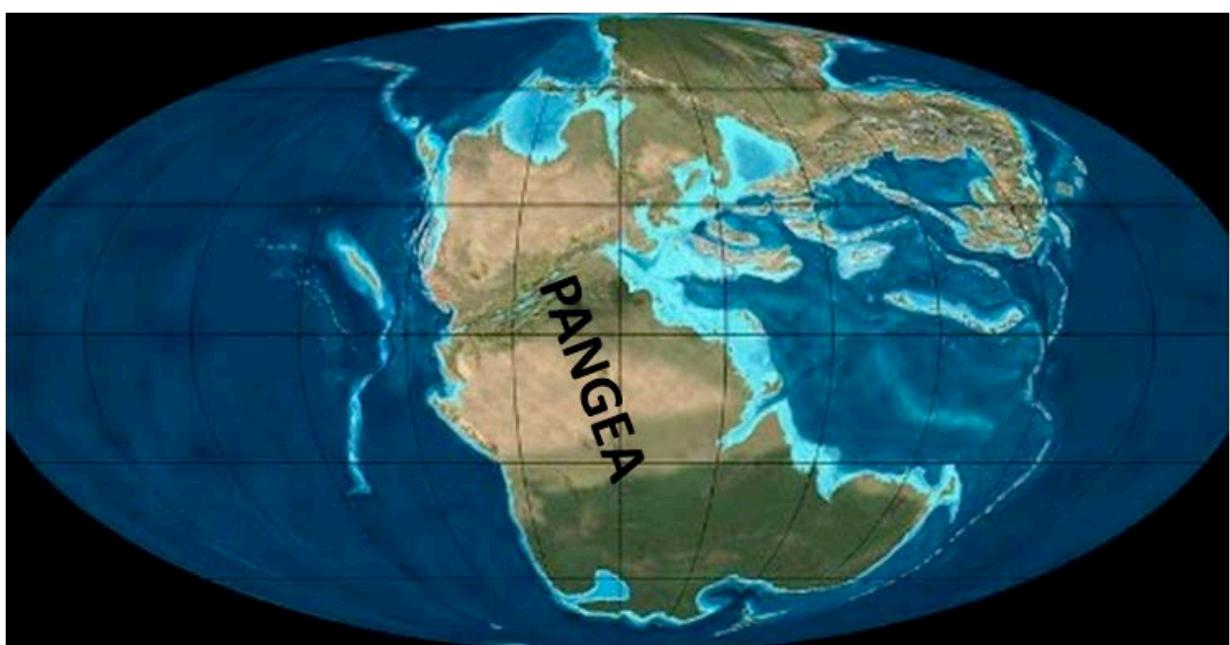


Slika 12: Povezanost magnetnih obrata i stope izumiranja (WEI i sur. 2014, iz: DRURY, 2014).

Mnogi od zabilježenih obrata magnetnog polja u Zemljinoj prošlosti ne podudaraju se s velikim izumiranjima. Međutim, kod učestalih reverzija ili dugotrajnog kolebanja, slabljenje Zemljinoga magnetnog polja otvorilo bi put solarnim vjetrovima, pa bi kisikovi ioni bili odneseni u svemir i došlo bi do globalne anoksije (slika 12) (WEIR i sur., 2014; iz: DRURY, 2014).

1.10. Tektonika ploča

Poznato je da su kontinenti i oceani tijekom Zemljine povijesti mijenjali svoj položaj. Neki od položaja mogli su doprinijeti nastanku ledenih doba. Otvaranje i zatvaranje morskih putova dovodilo je do unošenja novih kompetitivnih vrsta u ekosustave, ili do izolacije. Stvaranje superkontinenta Pangea u mlađem paleozoiku (**slika 13**) smanjilo je prostor šelfova, a time utjecalo i na bioprodukciju. Ujedno su golema područja u unutrašnjosti kontinenta bila izložena suši.



Slika 13: Superkontinent Pangea postojao je od karbona do trijasa (od 335 do 175 milijuna godina prije današnjice) (poveznica 18)

2. VELIKA IZUMIRANJA U PROŠLOSTI ZEMLJE

2.1. Kraj ordovicija

Ovo je prvo od zabilježenih velikih izumiranja u fanerozoiku, i ujedno jedno od najvećih. Obuhvaća niz kriznih događaja, od koji je zadnji zabilježen između 455 i 430 milijuna godina prije današnjice.

Utjecalo je na gotovo sav tadašnji živi svijet, a posebice na ramenonošce, bodljikaše, školjkaše, mahovnjake i koralje. Pripisuje se naglom zahladnjenu i stvaranju ledenog pokrova, te glacioeustatskom padu morske razine. Ima i mišljenja da je došlo do izboja gama-zraka, pojačanog vulkanizma i trovanja toksičnim metalima (MELOTT i sur., 2004; KATZ, 2015).

2.2. Kasni devon

Izumiranje u kasnom devonu dogodilo se približno prije 375 do 360 milijuna godina. Slično kao u ordoviciju, mogu se razlikovati najmanje dva krizna događaja. Izumiranje je bilo popraćeno oceanskom anoksijom (BOND i WIGNALL, 2008). Organska tvar, koja se nije raspala, zadržala se u poroznim grebenskim strukturama, pa su stijene ove starosti ponekad naftnomatične. Postoji čitav niz teorija o "okidačima" ovog izumiranja. Među njima se spominju impakt, magmatizam, ali i evolucija višeg bilja (ALGEO i sur., 1995; RICCI i sur., 2013).

2.3. Kraj perma

Krajem perma i na granici perm/trijas došlo je do najgore biotičke krize koja je ikad pogodila Zemlju, pa je geolozi nazivaju: Veliko izumiranje (Great Dying). Detaljnim istraživanjima stijena ove starosti utvrđeno je, slično kao kod prethodnih izumiranja, da se mogu razlikovati najmanje dva krizna događaja.

Među uzrocima navode se: impakt, masivni vulkanizam (Sibirske terase) (**slika 14**), globalno zatopljenje uzrokovano otpuštanjem metana, promjena morske razine, anoksija i klimatske promjene (FIO i sur., 2010). Prema procjenama znanstvenika, u ovom je izumiranju nestalo više od 95% živog svijeta. O ovom izumiranju postoje objavljeni radovi s područja Hrvatske (FIO i sur., 2010) te će o njemu biti više govora u posebnom poglavlju ove knjige.



Slika 14: Permska katastrofa očima umjetnika. (José-Luis Olivares/MIT, poveznica 19)

2.4. Kraj trijasa

Krajem perioda trijasa, prije oko 200 milijuna godina, nestalo je oko 34% rodova morskih životinja i mnogi kopneni vodozemci i gmazovi. Teorije o uzrocima izumiranja se razlikuju, a spominju se najčešće promjene klime i morske razine te zakiseljavanje oceana, zatim udar asteroida i na kraju masivni vulkanski izljevi na području Središnjeg Atlantika (DAL CORSO i sur., 2012; ONUUE i sur., 2016).

2.5. Kraj krede

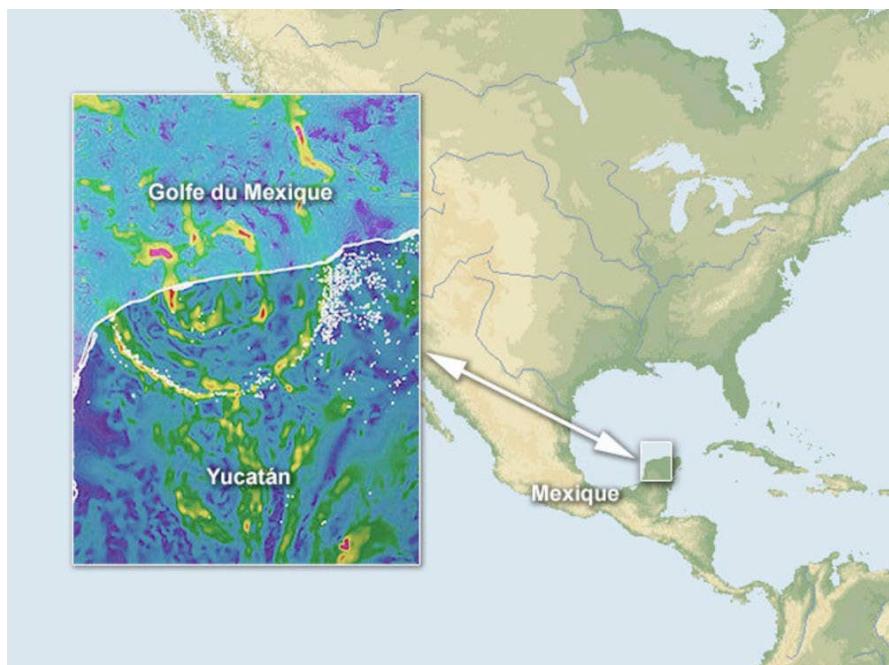
Tijekom krede došlo je do nekoliko manjih stresnih događaja. Među njima zabilježena su i dva oceanska anoksična događaja (OAE). Na prijelazu iz krede u paleogen, prije oko 66 milijuna godina, dogodilo se najpoznatije masovno izumiranje, koje je izbrisalo oko $\frac{3}{4}$ svih živih bića na Zemlji. Rano je privuklo pažnju znanstvenika, jer su među izumrlim skupinama bili i dinosauri (ELEWA, 2014; BENTON, 2015). Tjelesna masa i način prehrane utjecali su na preživljavanje te se čini da ovu krizu nije preživjela niti jedna životinja teža od 25 kg.

Ovo je izumiranje, prvi puta u povijesti geoznanosti, pripisano impaktu. Dokaze o tome pružaju slojevi obogaćeni iridijem, koji se mogu pronaći diljem svijeta, a prvi su ih objavili ALVAREZ i sur., 1980, ispucala kvarcna zrna i veliki krater odgovarajuće starosti – Chixculub

na Yucatánu (slika 15). Promjer impaktora procijenjen je na 10-15 km. Kolizija je oslobođila energiju milijardu puta veću od nuklearnih bombi koje su pogodile Hirošimu i Nagasaki.

Udar je izazvao globalne požare. Čestice izbačene u atmosferu zastrla su Sunce i dovele do naglog pada temperature (izazvale "nuklearnu zimu"). Jako zahladnjenje je, prema procjenama, trajalo najmanje 3 godine. Udar je izazvao tsunamije golemih razmjera, koji su zabilježeni diljem svijeta, pa i na području Hrvatske (KORBAR i sur., 2015). Sumporne čestice izbačene u atmosferu još su dugo stvarale kisele kiše.

Osobito jak utjecaj imao je ovaj događaj na biljke, fitoplankton i sve organizme neposredno povezane s njima u lancu prehrane. Najveću šansu za preživljavanje imali su organizmi koji se hrane detritusom. Izumiranje su dodatno ubrzali masivni bazaltni izljevi na području današnje Indije (Dekanske terase). Globalni pad morske razine krajem krede također je doprinio masovnom izumiranju.



Slika 15: Krater Chixculub s vidljivom koncentričnom kolapsnom strukturu otkrivenom gravitacijskom anomalijom. Bijela crta na karti gravitacijske anomalije označava obalnu liniju (poveznica 20)

3. UTJECAJ ČOVJEKA

Svjedoci smo zadnjih godina niza napisa o utjecaju čovjeka na nestanak mnogih vrsta. Stopa izumiranja je porasla na 140 000 vrsta godišnje, tako da znanstvenici već govore o šestom

velikom izumiranju (KOLBERT, 2015). Raspravlja se i o uvođenju novog geološkog razdoblja, antropocena, o kojem će biti više govora u jednom od kasnijih poglavlja.

Mnoge će vrste nestati prije nogu što ih uopće otkrijemo i opišemo. Stoga, širenjem znanja o dusezima katastrofičnih događaja u geološkoj prošlosti, osvješćujemo i krhkost današnjih ekosustava.

"Upravo u ovom trenutku, koji je za nas sadašnjost, odlučujemo, iako toga uopće nismo svjesni, koji će evolucijski putovi ostati otvoreni, a koji će se zauvijek zatvoriti. Nijedno drugo biće nije nikad bilo u takvom položaju, a to će nažalost, biti naša najtrajnija baština. Šesto izumiranje nastaviti će određivati tijek života dugo nakon što sve što su ljudi napisali, naslikali i izgradili postane prašina..."

Elisabeth Kolbert

4. LITERATURA

4.1. Objavljeni radovi

1. Algeo, T.J.; Berner, R.A.; Maynard, J.B.; Scheckler, S.E.; Archives, G.S.A.T. (1995). *"Late Devonian Oceanic Anoxic Events and Biotic Crises: "Rooted" in the Evolution of Vascular Land Plants?"* GSA Today. 5 (3).
2. Alvarez, L. W.; Alvarez, W.; Asaro, F. & Michel, H. V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. Science, 208 (4448).
3. Benton, M. (2015): When Life Nearly Died The greatest mass extinction of all time. Thames & Hudson, 352 str.
4. Bond, D. P. G. i Wignall, P. B. (2008): *"The role of sea-level change and marine anoxia in the Frasnian-Famennian (Late Devonian) mass extinction". Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology. 263, 107–118.* doi:10.1016/j.palaeo.2008.02.015
5. Bressan, D. (2011): Large Igneous Provinces and Mass Extinctions. Scientific American Blog. <https://blogs.scientificamerican.com/history-of-geology/large-igneous-provinces-and-mass-extinctions/>
6. Bralower, T. J. (2008): Earth science: Volcanic cause of catastrophe. Nature, 454, 285-287. doi:10.1038/454285a
7. Dal Corso, J.; Mietto, P.; Newton, R.J.; Pancost, R.D.; Preto, N.; Roghi, G.; Wignall, P.B. (2012). *Discovery of a major negative $\delta^{13}\text{C}$ spike in the Carnian (Late Triassic) linked to the eruption of Wrangellia flood basalts.* Geology. 40 (1): 79–82. doi:10.1130/g32473.1

8. Drury, S. (2014): Oxygen, magnetic reversals and mass extinctions. Earth-pages. <https://earth-pages.co.uk/2014/04/17/oxygen-magnetic-reversals-and-mass-extinctions/>
9. Elewa, A.M.T. 82014): Causes of Mass Extinctions - With Special Reference to Vanishing Of Dinosaurs. *Greener Journal of Physical Sciences*, Vol. 4 (2), 13-21.
10. Fio, K.; Spangenberg, J. E.; Vlahović, I.; Sremac, J.; Velić, I.; Mrnjek, E. (2010): Stable isotope and trace element stratigraphy across the Permian-Triassic transition in the Velebit Mt., Croatia // *Chemical Geology*, 278, 38-57. doi:10.1016/j.chemgeo.2010.09.001
11. Hallam, T. & Wignall, P. (1997): *Mass Extinctionas and their aftermath*. Oxford Univ. Press, 328 str.
12. Hull, P.M i Darroch, S.A. (2013): Mass extinctions and the structure and function of ecosystems. *Pal. Soc. Papers*, 19, 1-42
13. Johnson, B. C. i Melosh, H.. J. (2012): Impact spherules as a record of an ancient heavy bombardment of Earth. *Nature*, 485, 75-77. doi:10.1038/nature10982
14. Katz, Ch. (2015): New Theory for What Caused Earth's Second-Largest Mass Extinction. National Geographic News. <http://news.nationalgeographic.com/2015/09/15911-metals-extinction-ocean-oxygen-ordovician-silurian/>
15. Keller, G. (2005): Impacts, volcanism and mass extinction: random coincidence or cause and effect? *Australian Journal of Earth Sciences* (2005) 52, 725–757.
16. Kolbert, E. (2015): Šesto izumiranje. Sudbina vrsta u čovjekovim rukama. Znanje, 336 str.
17. Korbar, T., Montanari, A., Premec Fuček, V., Fuček, L., Coccioni, R., McDonald, I., Claeys, P., Schulz, T., Koeberl, C. (2015): Potential Cretaceous-Paleogene boundary tsunami deposit in the intra-Tethyan Adriatic Carbonate Platform section of Hvar (Dalmatia, Croatia), doi:10.1130/B31084.1
18. Melott, A.L.; et al. (2004). "Did a gamma-ray burst initiate the late Ordovician mass extinction?". *International Journal of Astrobiology*. 3: 55–61. <https://dx.doi.org/10.1017%2FS1473550404001910>
19. Onoue, T.; Sato, H.; Yamashita, D.; Ikebara, M.; Yasukawa, K.; Fujinaga, K.; Kato, Y & Matsuoka, A. (2016). "Bolide impact triggered the Late Triassic extinction event in equatorial Panthalassa". *Scientific Reports*, 6, doi:10.1038/srep29609.
20. Raup, D.; Sepkoski Jr, J. (1982). "Mass extinctions in the marine fossil record". *Science*. 215 (4539): 1501–1503.
22. Ricci, J.; Quiddeleur, X.; Pavlov, V.; Orlov, S.; Shatsillo, A. & Courtillot, V. (2013): *New 40Ar/39Ar and K-Ar ages of the Viluy traps (Eastern Siberia): Further evidence for a relationship with the Frasnian–Famennian mass extinction*". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 386, 531-540.

23. Thatcher, K. E.; Westbrook, G. K.; Sarkar, S. I Minshull, T. A. (2013): *Methane release from warming-induced hydrate dissociation in the West Svalbard continental margin: Timing, rates, and geological controls*'. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1-17.
24. 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.
25. doi:10.1126/science.1107068. PMID 15661973.
26. Wei, Y.; Pu, Z.; Zong, Q; Wan, W.; Ren, Z.; Fraenz, M.; Dubinin, E.; Tian, F.; Shi, Q.; Fu, S & Hong, M. (2014): Oxygen escape from the Earth during geomagnetic reversals: Implications to mass extinction. *Earth and Planetary Science Letters*, 394, 94-98.

4.2. Mrežne poveznice (1. IV. 2017.)

1. <http://www.nationalgeographic.com/science/prehistoric-world/mass-extinction/>
2. <https://www.boundless.com/biology/textbooks/boundless-biology-textbook/conservation-biology-and-biodiversity-47/the-biodiversity-crisis-259/biodiversity-change-through-geological-time-964-12223/>
3. <https://earth-pages.co.uk/tag/flood-basalts/>
4. <https://www.flickr.com/photos/murman/6989458580>
5. <http://www.npshistory.com/publications/geology/bul/1309/sec3.htm>
6. <https://www.studyblue.com/Hello?site=flashcard/view/15658877>
7. <http://soundofheart.org/galacticfreepress/content/new-island-emerged-coast-schleswig-holstein-germany>
8. <http://www.universetoday.com/19616/earths-10-most-impressive-impact-craters/>
9. <http://www.cv.nrao.edu>
10. <http://scienceillustrated.com.au/blog/science/tiny-spherules-reveal-asteroid-impact-history/>
11. <https://thenaturalhistorian.com/2013/05/24/ydb-younger-dryas-meteor-explosion-human-history/>
12. <https://robertscribbler.com/2013/08/12/a-deadly-climb-from-glaciation-to-hothouse-why-the-permian-triassic-extinction-is-pertinent-to-human-warming/>
13. <https://globalecogovernment.wordpress.com/2016/01/16/methane-release-accelerates-defrost/>
14. <https://robertscribbler.com/2014/01/21/awakening-the-horrors-of-the-ancient-hothouse-hydrogen-sulfide-in-the-worlds-warming-oceans/>
15. <http://survinat.com/2012/08/in-koblevo-release-of-hydrogen-sulfide-generated/>
16. <http://www.24sata.hr/tech/bljesak-gama-zraka-najjaca-je-eksplozija-od-velikog-praska-310957>

17. <http://earthref.org/ERESE>
18. <http://deeptimemaps.com/global-series-non-profit/>
19. <http://news.mit.edu/2014/an-extinction-in-the-blink-of-an-eye-0210>
20. <http://soundwaves.usgs.gov/2003/05/meetings.html>