

dr. Lukács Manuéla
Lukács István

Hol alakult ki az élet ?



dr. Lukács Manuéla - Lukács István

Hol alakult ki az élet ?

2014-2022.

Tartalomjegyzék

Szárazfölkék kialakulása.....	8
Ősközetek.....	17
Nuvvuagittuq zöldkő	18
Acasta Gneiss	20
Amitsoq gneisz	23
Az élet definíciója.....	24
Az élet a fizika szemszögéből.....	26
Az abiogenezis	33
Meteoritok szállíthatták a földre a vizet és szerves összetevőket az élethez.....	40
Az Itokawa aszteroida vize olyan, mint a Föld vize.	45
Mi kell ahhoz, hogy egy szervezet élő legyen?.....	71
Extrém környezetben keletkezhetett az élet?	78
Természetes atomreaktor is lehet az élet kialakulásának helye	84
Bizonyos modellek szerint az élet a tengerek mélyén keletkezett	86
Az RNS-világ elmélete szerint az élet.....	99
Az RNS-nél sokkal stabilabb DNS molekulák.....	100
Az egysejtűek sejtje minden életműködés ellátására képes.....	101
A kettőshélix-szerkezet	102
A DNS hibátlan replikációja (másolódása) létfontosságú	106
Az élet korai nyomainak keresése a Földön	148
Teljes ősmaradványok.....	150
Lenyomat	151
Kőbelek.....	151
Bioszignatúra.....	152
Életnyomok.....	153
A földi élet kezdeti kialakulásának főbb eseményei	155
Hadaikum (4 600 – 4 000 millió évvel ezelőtt).....	158
Archaikum (4 000 – 2 500 millió évvel ezelőtt).....	165
Szuperkontinensek	217
Vaalbara	218
Ur	221

Kenorland	221
Arctica	226
Atlantica	226
Nena	227
Columbia	227
Nuna	228
Proterozoikum (2 500 – 541 millió évvel ezelőtt).....	229
Rodinia	248
Hólabda-Föld	249
Az ediakara (635 – 542 millió évvel ezelőtt)	253
Pannotia	259
Fanerozoikum (541 – 0 millió évvel ezelőtt).....	262
A paleozoikum (541 – 251 millió évvel ezelőtt),	262
A kambrium (541 - 485 millió évvel ezelőtt)	263
Gondwana	277
Avalonia.....	279
Az ordovicium (485 - 443 millió évvel ezelőtt).....	281
A szilur (443 - 419 millió évvel ezelőtt).....	298
A devon (419 - 359 millió évvel ezelőtt)	307
A karbon (359 - 299 millió évvel ezelőtt)	324
Pangea.....	334
A perm (299 - 252 millió évvel ezelőtt)	348
A mezozoikum (251 – 66 millió évvel ezelőtt).....	371
A triász (252 - 201 millió évvel ezelőtt).....	371
A jura időszak (201 - 145 millió évvel ezelőtt)	394
A kréta időszak (145 - 65 millió évvel ezelőtt).....	410
A kainozoikum (66 – 0 millió évvel ezelőtt).....	462
A paleogénban (65 - 26 millió évvel ezelőtt),	467
A neogénban (26 - 12 millió évvel ezelőtt),	473
Az ember és a majmok közös őstörténete.....	483
Az emberfélék vagy hominidák (Hominidae)	487
Negyedidőszak (2,58 – 0 millió évvel ezelőtt).....	488
Homo sapiens	501

Vadászó, halászó, gyűjtögető társadalmak.....	506
A „Neander-völgyi” ősember.....	507
A „Crô-magnoni” ember.....	510
A „Gyenyiszovai” ember.....	512
Letelepült és nomád állattartó közösségek.....	517
A neolitikus kultúra i. e. 10.000 után jelent meg.....	518
A népesség növekedése	528
Az éghajlat változását alakító tényezők.....	532
A fajok sokszínűségének csupán töredéke ismert,	576
A fosszília formájában ismert fajok.....	579
A biodiverzitás (biológiai sokféleség) alakulása	581
Tömeges kihalást több földtörténeti időből ismerünk,.....	582
Földtörténeti időskála	597
A biológiában a rendszertan.....	598
A filogenetikus rendszertan	602
A kladsztika	608
A korall típusú ábrázolásmód.....	611
Szakirodalom:.....	612

ELŐSZÓ

Egy őskőkorszakról szóló tanulmány elé előszót kezdtünk írni az élet kialakulásáról, amikor megragadta a figyelmünket egy mondat,
„...a Földre érkező vízjég alapú üstökösök a vízkészletet gyarapították. Egyes feltételezések szerint ezek aminosavak formájában a víz mellett az élet csíráit is magukban hordozták.”

Érdeklődésünket felkeltette, hogy mi az alapja az állításnak.

A kutatómunkában oly mértékben elmélyedtünk, hogy több száz oldalas ismeretterjesztő gyűjtemény lett az eredménye, melyet két kötetben foglaltunk össze.

„Az élet kialakulásának kutatása a Naprendszerben” I. rész, amely 2014-óta elérhető a Magyar Elektronikus Könyvtárban (mek.oszk.hu/13200/13212/), és a most elkészült „Az élet megjelenése a Földön” II. rész.

A tudományos közvélemény által jelenleg elfogadott elméleteket és az új kutatási eredmények ismeretében született hipotéziseket szeretnénk az olvasó figyelmébe ajánlani, amelyek sokszor vitában állnak ugyan egymással, de a világunk megismeréséhez egyre közelebb visznek.

A fiatal Nap körüli törmelékkorong, azaz a protoplanetáris köd anyagának tömörödésével 4.54 ± 0.05 milliárd évvel ezelőtt létrejöttek az első bolygókezdemények. A viszonylag lassú összeállás lehetővé tette a szilárd felszín kialakulását. A fiatal Föld pályája a Naprendszer lakható övezetében stabilizálódott, amely ekkor még nem volt mentes a törmeléktől.



(illusztráció forrása: Asteroid impacts on early earth scaled, timetrek.aikavaellus.fi/timetravel/4568_2/)

A hadaikum (kéreg nélküli időszak) a földtörténeti időskála legelső eonja, amely az archaikum előtti időket foglalja magában a Föld keletkezésétől számítva 4,5-4,0 milliárd évvel ezelőttig terjedő időszakot értik alatta. Ezen intervallum eseményei a bolygóanyag összeállásától az ósóceánok kialakulásán át az élet megjelenéséig terjednek.

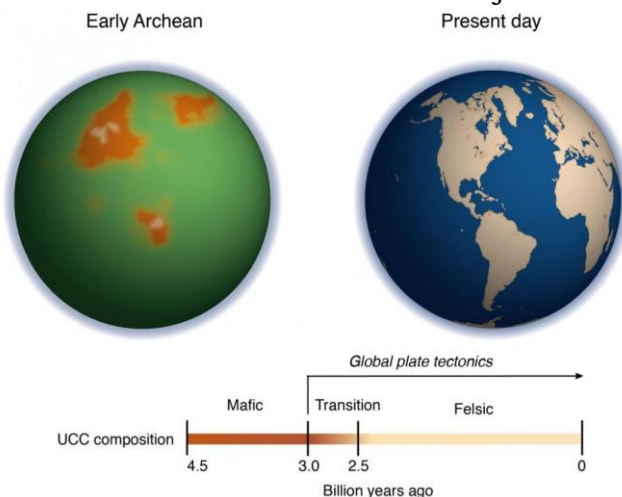
A hadaikum (Hádészi) mint eon a földtörténeti időskálán hivatalosan, a Nemzetközi Rétegtani Bizottság (International Commission on Stratigraphy) által el nem ismert, mivel kortörténeti meghatározása nélkülözi a rétegtani módszereket (nem maradt fenn elegendő vizsgálható szilárd felszíni réteg ebből az időszakból).

(illusztráció: universetoday.com/58177/earth-formation/)



Szárazföldek kialakulása

A hadaikumban még nincs szilárd földkéreg, az archaikumban a földkéreg még aktívan növekedett, és a kis proto-kontinensek csak körülbelül 3 milliárd évvel ezelőtt jelentek meg.



(forrás: MING TANG/UMD, www.eurekalert.org/pub_releases/2016-01/uom-nsz012016.php és Julia Bryan, endeavors.unc.edu/spr97/úr.htm, és a szárazföldek kialakulása animáció: www.facebook.com/watch/?v=1731188553566202)

A bal oldali kép azt ábrázolja, hogy a Föld miként nézett ki több mint 3 milliárd évvel ezelőtt a Archaikumban. A narancssárga alakzatok a proto-kontinenseket ábrázolja, mielőtt a lemeztectonika megkezdődött - bár pontos alakjukat és helyüket nem lehet meghatározni.

Az ábrán az óceán zöldes színével azt mutatja hogy, abban az időben nagy mennyiségű vas (Fe [II]) ion volt a vízben. Az idővonal nyomon követi az átmenetet a magnéziumban gazdag (mafikus) felső kontinentális kéregből (UCC, Upper Continental Crust) a magnéziumszegény (felzikus) UCC-be.

A felzikus (színtelen) elegyrészek, amelyek Fe, Mg és Ti mentesek, ennél fogva nincs saját színük. Ebbe a csoportba a földpátok, földpátpótlók és a kvarc tartozik. A mafikus (színes) elegyrészek, amelyek többek között Fe, Mg és esetleg Ti tartalmúak, aminek következtében sötét, elsősorban fekete vagy zöld színűek (olivin, piroxén, amfibol, biotit).



A Föld történetét elsősorban a hegységekbe gyúrt üledékes kőzetekből tudjuk kiolvasni. Ezeknek az üledékeknek a lerakódása, felgyűrődése, majd lepusztulása a fentebb vázolt lemeztektónikai folyamatok eredménye. Az idősebb hegységek általában mélyebben lepusztultak, így a prekambrium folyamatairól csak szórványos ismereteink vannak. Az első kontinens (szuperkontinens) az Ur-nak nevezett őskraton, amelynek feldarabolódott részei ma az afrikai, dél-amerikai és indiai kratonokban találhatók meg.

A Föld sűrűség szerint elkülönült rétegei (övei) közül kezdetben az óceáni típusú litoszféra volt a legkülső. Egyes kutatók szerint az archaikumban élénk lemeztektónikai folyamatok zajlottak, amelyek főként abban tértek el a maiaktól, hogy a lemezek – kisebb méretük és vastagságuk következtében – gyorsabban mozogtak. A kontinentális litoszféralemezek kezdetei, az őskratonok a késő-archaikumban, mintegy 500 millió év alatt jöttek létre. Ekkor alakult ki a mai kratonok területének 7 százaléka.

A lemeztektónikai aktivitás a proterozoikumban lelassult az archaikum mobilis időszakához képest. Az archaikum után jelentős tömegű ultrabázisos magma nem tört többé a felszínre, megszűnt az összefüggő komatiit-öv (ultramagas olvadáspontú és igen alacsony viszkozitású olvadék-öv) a kéreg alatt, lehetővé téve a mai lemeztektónikai folyamatok beindulását. A litoszféra jelenkori vastagságának 90%-át 2,5 milliárd évvel ezelőtt érte el. A kontinentális litoszféra ősi elemeit, a kontinensek „magját” kratonoknak nevezzük. A kratonok felszíni kibúvásai a pajzsok (pl. a Baltikumban a Balti-pajzs), a fiatalabb üledékekkel fedettek pedig a platformok (pl. az orosz tábla).

A kezdeti kratonok kialakulásának magyarázatára több elmélet született. Mindenesetre magmadifferenciációnak, pl. részleges megolvadásnak kellett lejátszódnia ahhoz, hogy a bázikus összetételű litoszférában a savanyú kontinentális kéregdarabok is megjelenhessenek. Legvalószínűbb, hogy ez a korai lemeztektónika szubdukciós folyamatai során játszódtott le.

A fanerozoikum során három jelentős hegységképződési ciklus zajlott le. Ezek során az őskontinensek területe egyre gyarapodott a bezáruló óceánok üledéksorából keletkezett kőzetek hegységekké történt felgyűrődésével.

Ezek az őskontinensek a következők voltak: Laurencia (a Kanadai-pajzs és Grönland), Fennoszarmácia (a Balti- és az Ukrán-pajzs), Angara (a Szibériai-pajzs) és Gondwana (az Afrikai-, a Dél-Amerikai-, az Indiai-, az Ausztráliai- és az Antarktisi-pajzs együttese).

(forrás: Budai Tamás, Konrád Gyula: Óceánok és hegységrendszerek kialakulása a Föld történetében, 9. fejezet. tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/out/html-chunks/ch09s02.html)

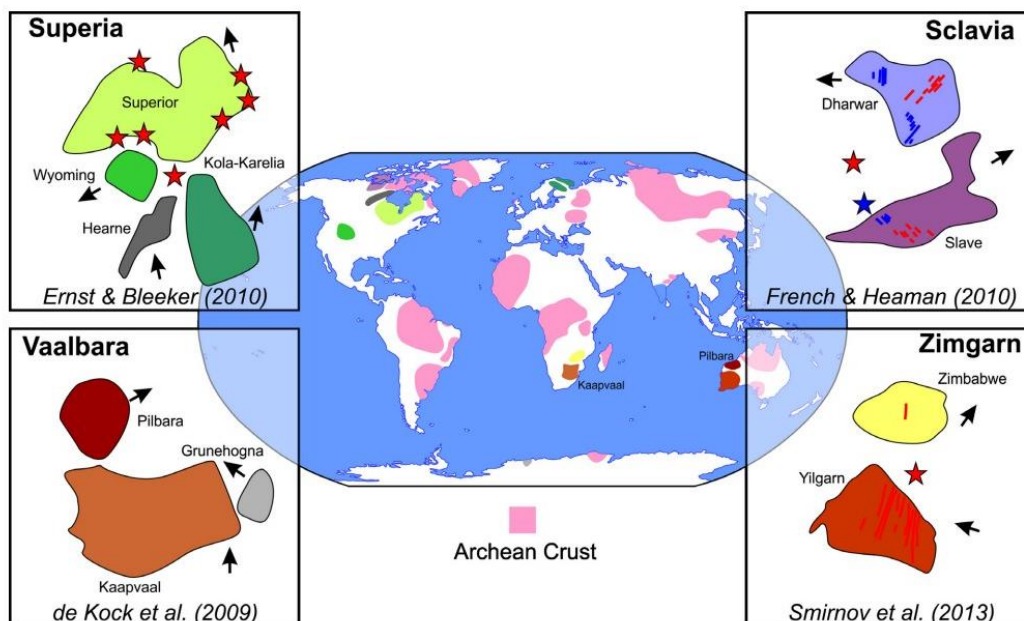


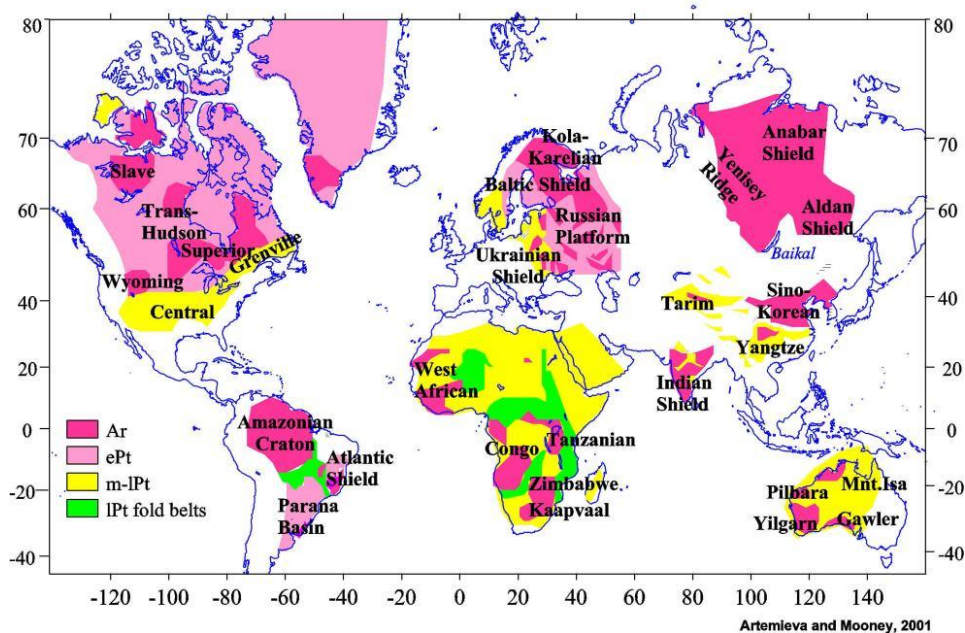
Figure 1. Distribution of preserved Archean crust globally, with the various supercratonic configurations proposed at left and right. These supercratonic configurations include Superia after Ernst and Bleeker (2010), Vaalbara after de Kock et al. (2009), Sclavia after French and Heaman (2010) and Zimgarn after Smirnov et al. (2013). The current outline of the cratons that make up these supercratons are shown. This includes the proposed cratonic configurations along with the present-day truth north directions in each craton with defining magmatism from coeval dyke swarms and sill provinces also shown.

(forrás: Ashley Gumsley: Validating the existence of the supercraton Vaalbara in the Mesoarchaeon to Palaeoproterozoic. Lund University, Faculty of Science, Department of Geology, Lithosphere and Biosphere Science.

https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/30046542/Gumsley_2017_.pdf

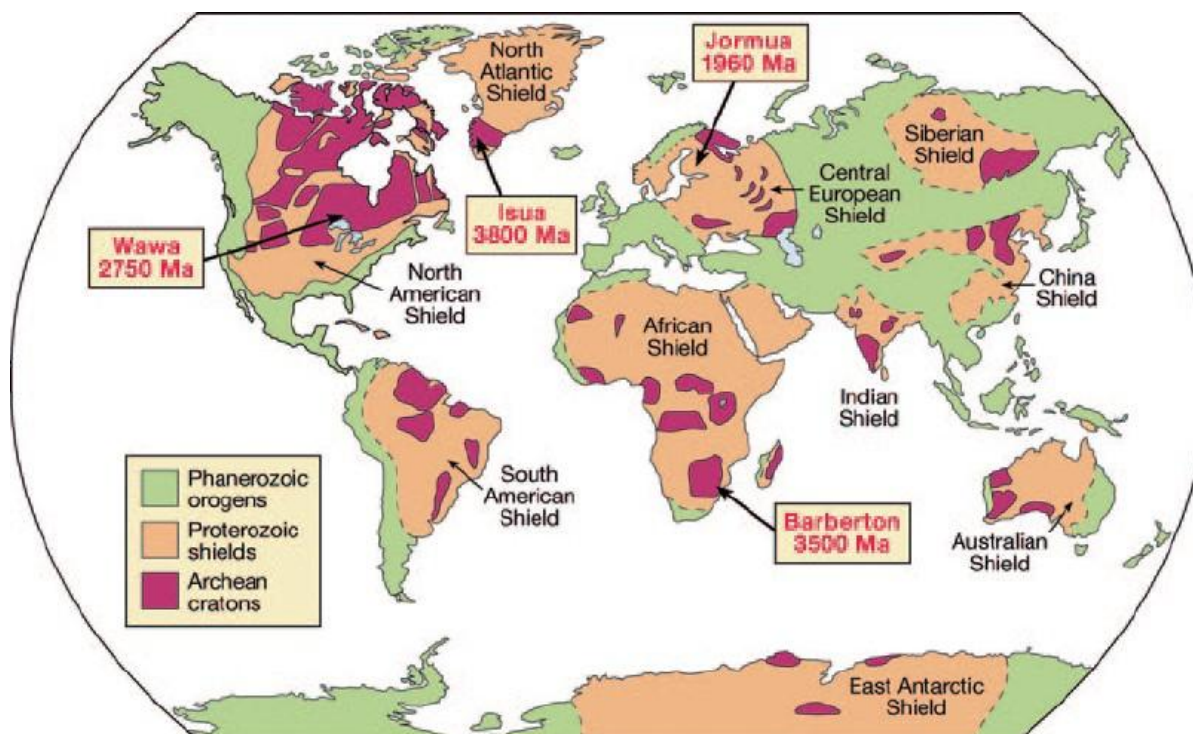
A megörzött archeai kéreg globális eloszlása, a bal és jobb oldalon a lehetséges különféle szuperkraton konfigurációkkal.

Precambrian cratons



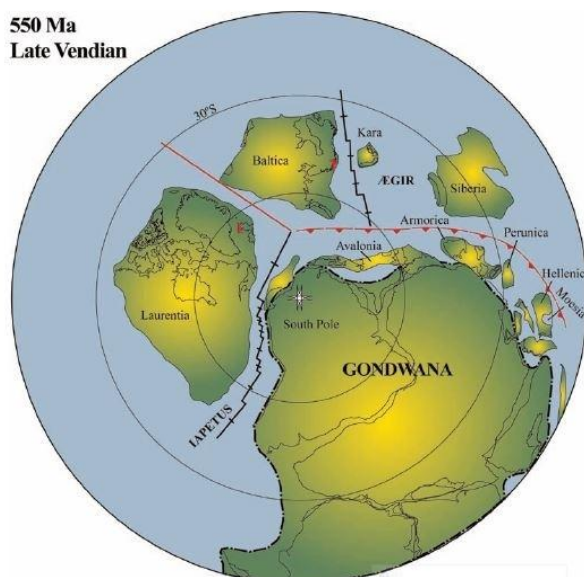
(forrás: www.lithosphere.info/JGR2001/cratons.jpg)

R.847524398fe6ad1f5022b13dd04d2ab6 (1969×1383) (bing.com)



(forrás: www.researchgate.net/figure/Map-showing-the-World-distribution-of-Phanerozoic-Proterozoic-Shields-and-Archean_fig1_258728343)

A Föld nagyobb ősföldjei. Ezek a pajzok egykori hegységek maradványai, amelyek általában gyökérrégiójukig lepusztultak. Ezek a későbbi földrészek magjait alkotó kontinentális tömbök a Föld legősibb területei, az első kéregsziget-maradványok, amelyek a kihülő kőzetolvadékból képződtek. Minden kontinensnek létezik egy ősi magterülete, egy geológiai értelemben idős, stabil, kontinentális kéregrés, melyet kratonnak, pajzsnak vagy ősmasszívumnak neveznek.



A legrégebbi kéregmaradvány 3,9 milliárd éves, a Narryer Gneisz Formáció Nyugat-Ausztráliában (Nebel-Jacobsen et al., 2010). Ugyanakkor a Kanadai-pajzs és a Fennoskandia-pajzs egyes részei is ebből az időből származnak.

(forrás: exploringnewfoundland.blogspot.com/2014/06/some-basic-geologic-facts.html)

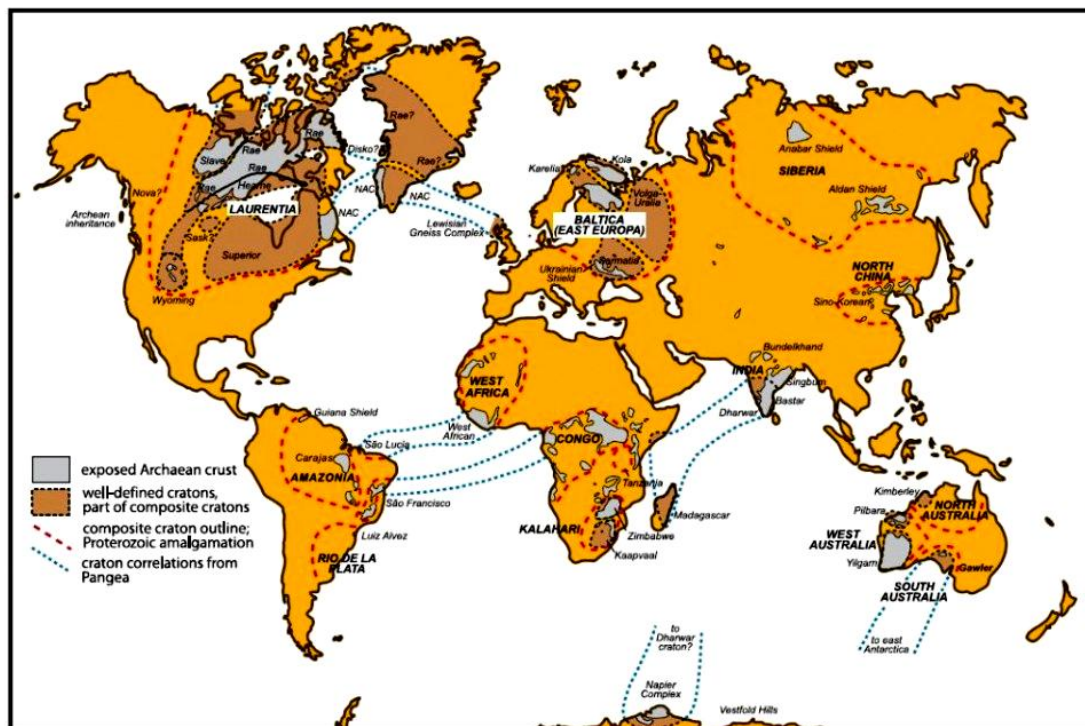
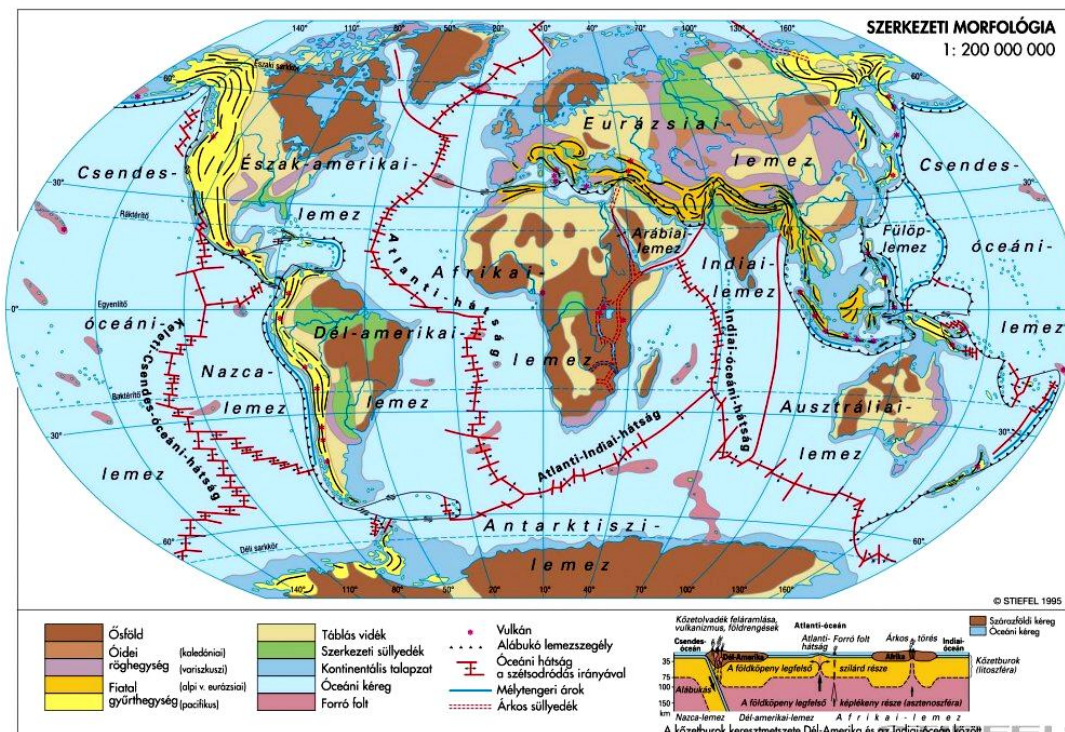


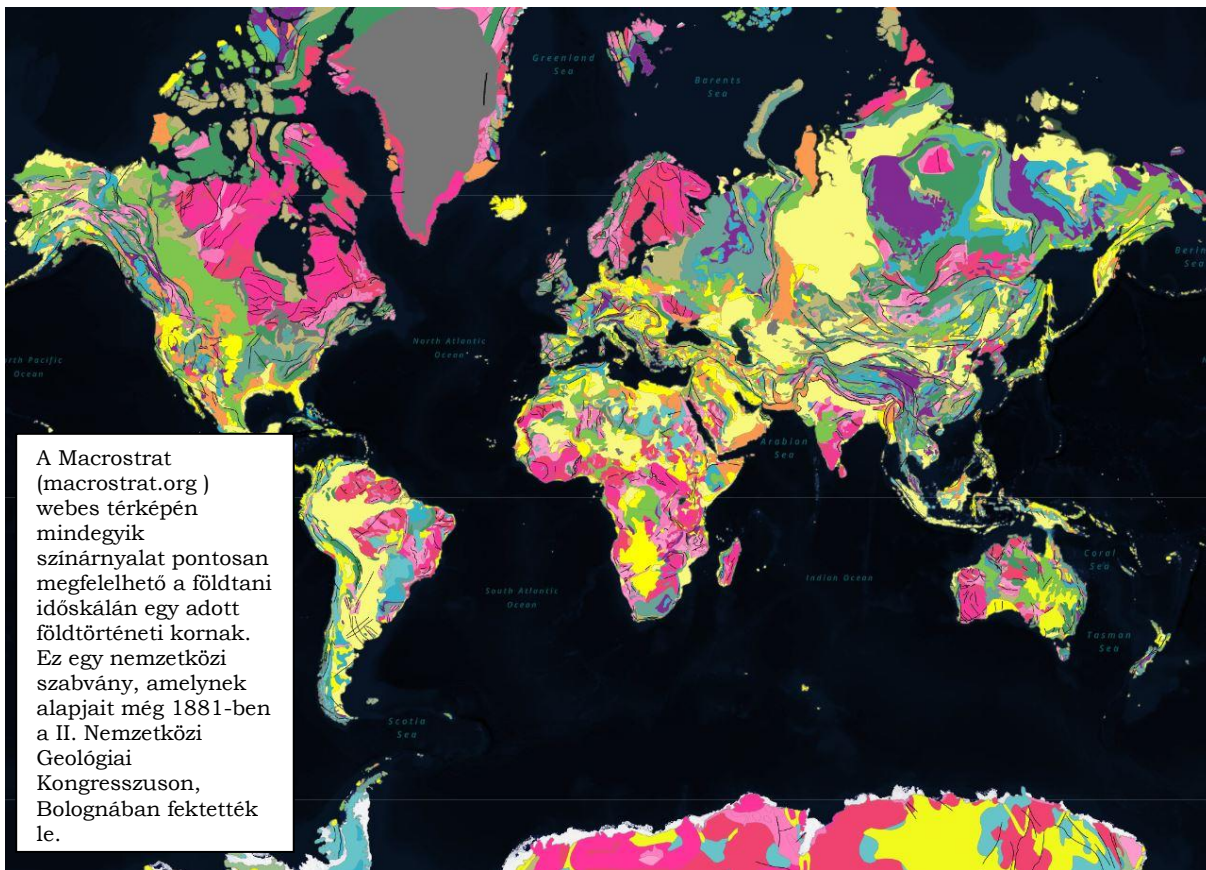
Fig. 1. Global distribution of the cratons (regions of crust >2.5 Ga old) modified after Bleeker (2003). Regional outcrops of Archean crustal rocks are indicated in grey (those beneath Greenland are extrapolated under the ice cap) and other definable fragments of composite cratons in brown (from Bleeker 2003). The approximate outline of units that are relatively well defined as whole, composite cratons is shown by black dotted lines. Red dashed lines show the estimated extent of cratonic regions amalgamated from Archean blocks during the Proterozoic. Blue dotted lines extend across oceanic areas show links between cratonic fragments that are thought to have once formed single cratonic blocks. NAC, North Atlantic Craton.

(forrás: all-geo.org/metageologist/2012/12/cratons-old-and-strong/)



(forrás: <https://iskolaellato.hu/Szerkezeti-morfologia>)

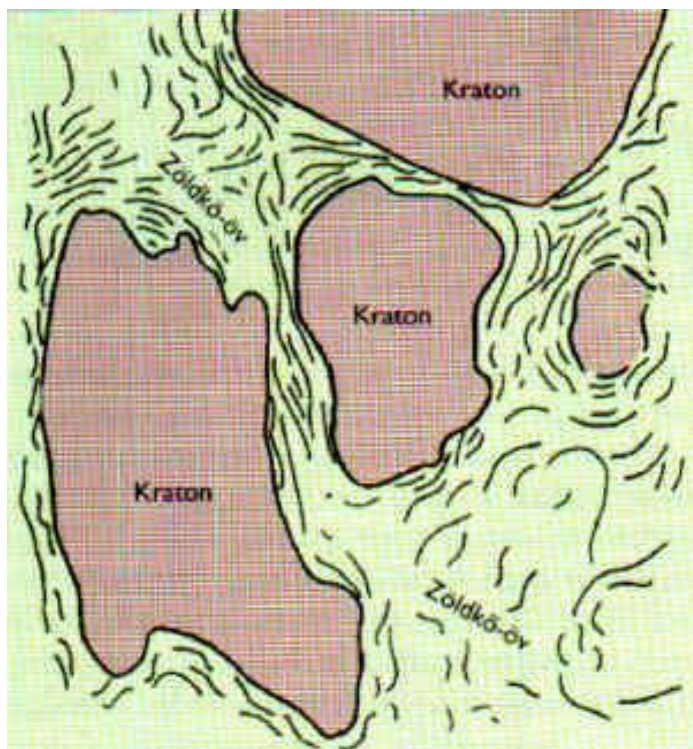
A térképeken az ősföldek, a táblák, és a litoszféra tektonikai lemezek vannak jelölve.



(forrás: pangea.blog.hu/2017/12/20/5_perc_geologia_foldtani_vilagatlasz)

RGB Color Code according to the Commission for the Geological Map of the World (CGMW), Paris, France

Phanerozoic 154/217/221	Cenozoic 242/249/29	Holocene 254/242/236	254/242/236		
		Upper Quaternary 249/249/27	255/242/211		
	Neogene 255/230/25	Pleistocene 255/242/199	"Ionian" 255/242/199	255/242/199	
		Calabrian 255/242/188	Gelasian 255/237/179	255/255/191	
		Pliocene 255/255/153	Zanclean 255/255/179	Messinian 255/255/115	
		Miocene 255/255/0	Tortonian 255/255/102	Serravallian 255/255/89	
	Mesozoic 103/197/202	Oligocene 253/192/122	Langhian 255/255/77	254/230/170	
			Burdigalian 255/255/65	Rupelian 254/217/154	
		Eocene 253/180/108	Aquitanian 255/255/51	Priabonian 253/205/161	255/192/145
			Chattian 254/230/170	Bartonian 253/192/145	Lutetian 252/180/130
Paleocene 253/167/95		Ypresian 252/167/115	Thanetian 253/191/111	254/191/101	
		Selandian 254/191/101	Danian 253/180/98	Maastrichtian 242/250/140	
Paleozoic 153/192/141		Permian 240/64/40	Wuchiapingian 252/180/162	240/244/127	
			Changhsingian 252/192/178	Santonian 217/239/116	
		Triassic 129/43/146	Lopingian 251/167/148	Coniacian 204/233/104	191/227/93
			Wuchiapingian 252/180/162	Cenomanian 179/222/83	Albian 204/234/151
	Jurassic 52/178/201	Guadalupian 251/116/92	Santonian 217/239/116	191/228/138	
		Wordian 251/141/118	Coniacian 204/233/104	179/223/127	
	Cretaceous 140/205/87	Roadian 251/128/105	Turonian 191/227/93	140/205/87	
		Capitanian 251/154/133	Cenomanian 179/222/83	Hauterivian 186/217/117	
	Mesozoic 103/197/202	Upper Permian 153/164/81	Artinskian 227/123/104	153/211/106	
			Sakmarian 227/111/82	Berrisian 140/205/96	
Middle Permian 153/164/81		Asselian 227/99/80	Albian 204/234/151	153/192/120	
		Gzhelian 204/212/199	Barremian 179/223/127		
Lower Permian 153/164/81		Kasimovian 191/208/197	Albian 204/234/151	153/192/120	
		Moscovian 179/203/185	Barremian 179/223/127		
Upper Paleozoic 154/217/221		Carboniferous 103/165/153	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Permian 240/64/40	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Paleozoic 153/192/141		Upper Paleozoic 154/217/221	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Middle Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Lower Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
	Cenozoic 242/249/29	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
	Phanerozoic 154/217/221	Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
Cenozoic 242/249/29		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
		Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120		
Phanerozoic 154/217/221		Paleozoic 153/192/141	Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
			Wuchiapingian 252/180/162	153/192/120	
		Mesozoic 103/197/202	Wuchiapingian 252/180/162		



Az első vulkáni hasadékvölgyek (riftek), az első bázisos (szilícium-dioxidban szegény) magmabenyomulások (telérek) és az első nagy üledékes medencék a késő-archaikumban azt jelzik, hogy a kontinentális kéreg ekkorra már megfelelő stabilitással és merevséggel rendelkezett.

A gránit-gneisz kratonokat körülvevő, erősen gyűrt zöldkő-övek metamorfizált bazaltból és üledékes kőzetekből állnak.

(forrás: fold1.ftt.uni-miskolc.hu/~foldshe/foldal08.htm)



A zöldkő-övek, gránit-gneisz formációkba ágyazott, erősen gyűrt kőzettömegek, amelyek sötét színű vulkanitokból, kis- és közepes metamorf fokozatú kőzetekből, valamint tengeri üledékes kőzetekből állnak. A metamorf kőzeteket főleg szerpentinit és amfibolit képviselik, amelyeknek zöld színe miatt kapta elnevezését a kőzetsorozat.

A Minnesota északi részén található zöldkő valamivel fiatalabb, mint a gneiss.

Ez a fajta kőzet körülbelül 2,7 milliárd évvel ezelőtt alakult ki, amikor a Minnesota északi részén található vulkáni szigetív része volt.

(forrás: www.mngs.umn.edu/virt_egg/greenstone.htm)



(illusztráció forrása: realhawaiitours.com/touristic-tour-through-hawaii-volcanoes-national-park/)



(phys.org/news/2017-09-analysis-titanium-ancient-upheaval-history.html)

Hadaikum (4,6 milliárd évvel ezelőtől a 3,8 milliárd évvel ezelőtig terjedő időszak) egy-egy látképének illusztrációja.

A zöldkő kialakulására máig nincs egységesen elfogadott elmélet. A bazalthoz, illetve mélységi magmás párjához, a gabbróhoz hasonlító, erősen bázikus közetről van szó, amely keletkezése óceáni eredetre utalna, de az akkori viszonyok között ez igen nehezen képzelhető el.

Úgy tűnik, hogy abban az időben még nem léteztek óceánok, pedig a párnalávához hasonló képződmények arra utalnak, hogy víz alatt megszilárdult kőzettestekkel van dolgunk. Feltehetően azonban más okokat kell keresnünk e formák hátterében.

Grönland fővárosa, Nuuk közelében található egy régóta híres kőzetformáció, az Isua szuprakrusztális öv vagy Isua zöldkő-öv. A szuprakrusztális kifejezés a kéreg felső részére utal. Ezen a területen nemcsak az átalakult, ősi bazalt nyomaira bukkantak, hanem üledékes kőzetekre is.

Természetesen ezek a kőzetek erősen metamorfizálódtak, azaz átalakultak.



Az itt található legidősebb kőzetek kora 3,7-3,8 milliárd év. Sokáig azt gondolták, hogy ez bolygónk legősibb helye, legalábbis, ami a felszínen hozzáférhető.

(forrás: alchetron.com/Isua-Greenstone-Belt)

A Kanadai-pajzs hatalmas kiterjedésű fedetlen területei szintén ősi kőzeteket találtak, a Nagy-Medve-tótól keletre, az Acasta folyó közelében az Acasta gneisz 4 milliárd évesnek bizonyult.

A Hudson-öböl keleti partján, a Frazier-sziget közelében található a Porpoise Cove zöldkő-öv, a kanadai Québec államban szintén erős metamorfózison keresztül ment zöldkő, a legidősebb kőzet a Földön, a kőzet kora 4,28 milliárd év.

A prekambriumi kőzetek tanulmányozása nem egyszerű feladat, mivel jelentős részüket elpusztította az erózió, vagy mélyen betemetődve fekszenek a fiatalabb képződmények alatt, a felszínen lévők jelentős része pedig erősen átalakult (metamorfizálódott).

Létezik néhány, az archaikumot megelőző időből származó kőzet, de a Föld felszínén található legrégebbi kőzeteinek nagy része az archaikumból (4,0–2,5 milliárd évvel ezelőtt) származik.

Az archaikumi kőzetek egyik legfontosabb előfordulása a felső-földkéregben képződött, majd később a felszínre került zöldkő-gránit-övekben található. A legtöbb kontinensen előforduló kőzetcsoport képződési ideje 2,7-2,6 milliárd évvel ezelőtt történt. Ezek a területek szerte a világon nagyon sok fontos nyersanyagot biztosítanak a bányászatnak.

Ősközetek

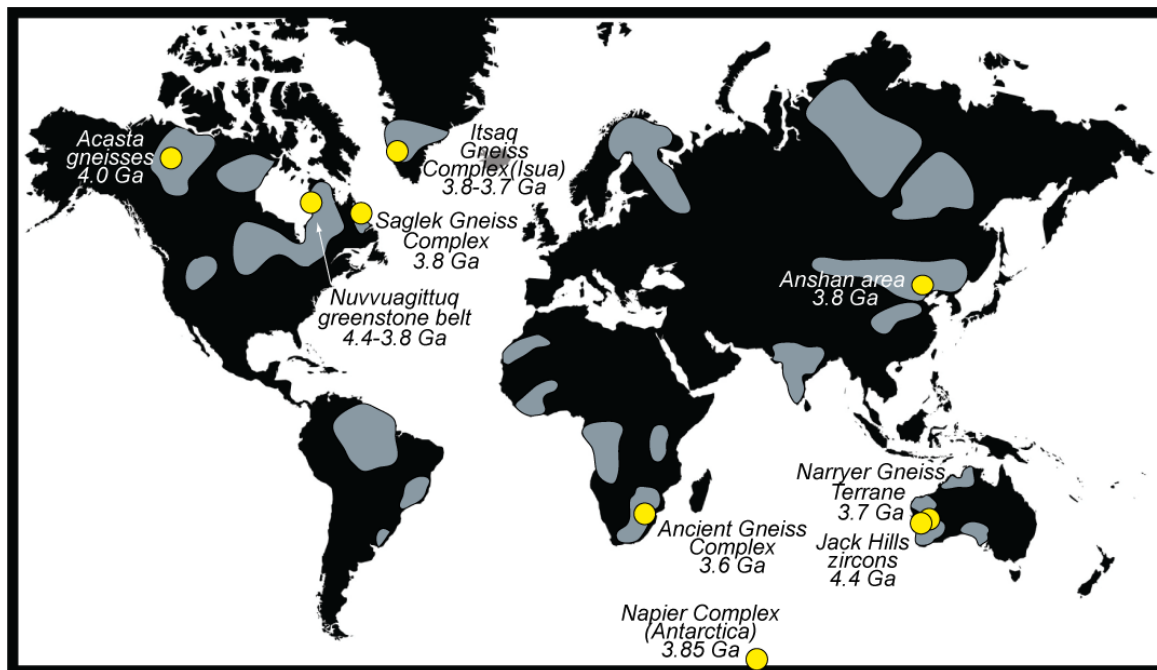
Archaikumból származó kőzetek ismertek Nyugat-Ausztráliából, Grönlandról, Dél-Afrikából, és a Kanadai-pajzsból.

Az első kontinensek is az archaikum alatt alakultak ki, azonban ezen kőzeteknek csak kb. 7%-a található meg a Föld mai kőzetlemezein.



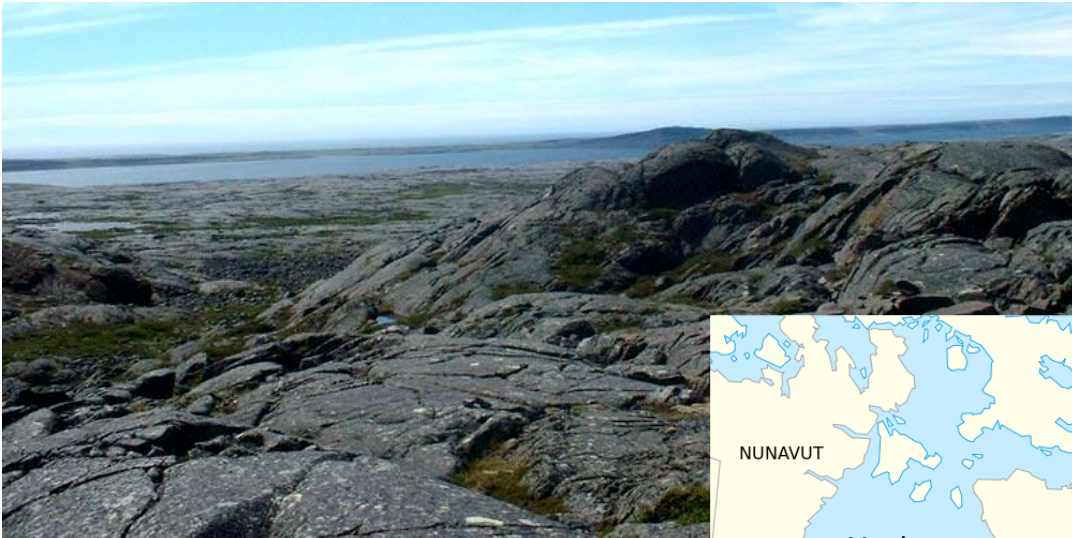
(illusztráció forrása: www.boulder.swri.edu/~marchi/)

A feltételezett 4,5-4,0 milliárd évvel korábbi földfelszíni viszonyokat mutatja,



(forrás: Hadean and Eoarchean terranes, uottawa.earthyworldpress.com)

A Föld ősközetei.



(forrás: Science / AAAS,
 newscientist.com/
 article/dn14818-discovery-of-worlds-
 oldest-rocks-challenged/)

Nuvvuagittuq zöldkő-övezet egy fekkőzet (alapkőzet, legalsó réteg, ágykőzet, legrégebbi, legöregebb kőzet) kibúvás a kanadai Quebec északi részén, a Hudson-öböl keleti partján, amelyre a geológusok először 2001-ben figyeltek fel. Innen vett mintákban ritka földfémek (szamárium és a neodímium) izotóppozitívumát elemzve Jonathan O’Neil (McGill Egyetem) és Richard Carlson (Carnegie Intézet) geológusok arra az eredményre jutottak, hogy a minták kora 4,28 és 3,8 milliárd év közötti.

Simon Wilde (Földtudományi Kutató Intézet, Ausztrália) úgy véli, hogy a 3,8 milliárd év inkább a tényleges életkora szikláknak - olvasható a Science folyóiratban (DOI : 10.1126/Science.1161925)



Nuvvuagittuq „greenstone belt” (zöldkőzet övezet) gneiss (metamorf kőzet).

(forrás: NASA Astrobiology Institute, és
 www.wikiwand.com/en/Nuvvuagittuq_Greenstone_Belt)

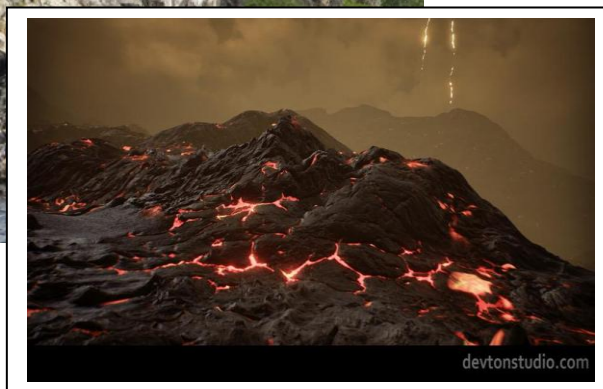


(forrás: Amazing Geologist,
www.mnn.com/lifestyle/eco-tourism/blogs/hawaii-lava-flow-awe-inspiring)

Az illusztráció egy ~4,28-3,8 milliárd évvel korábbi földi feltételezett helyszín képét mutatja, ahol a napjainkban is még fellelhető ősközetek a hadaikumi időben megszilárdultak, majd évmilliárdok alatt formálódtak.

Acasta Gneiss komplexum (egy tonalit gneiss) 3,96 - 4,031 milliárd éves archaikumi kőzet a másik legöregebb kőzet a kanadai északnyugati területeken a Slave Cratonnál található.

Újabb Nd izotopos vizsgálatok eredménye szerint, a mintavételi terület, már korán, a Hadeán eon idején, körülbelül 4,3 milliárd évvel ezelőtt formálódott.



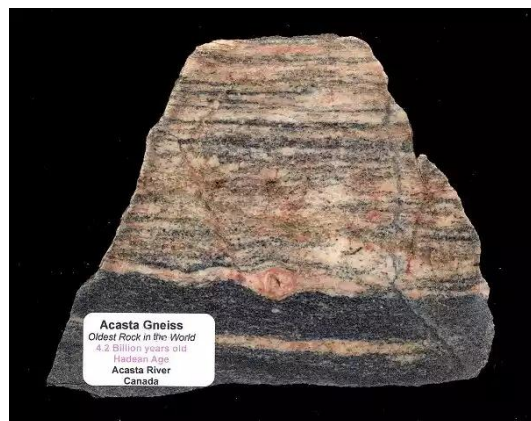
(forrás: Orwig, J. (2014), Formation process of Archean rocks in the Acasta Gneiss Complex, Eos, 95, doi:10.1029/2014EO021275.

Published on 31 December 2014.,

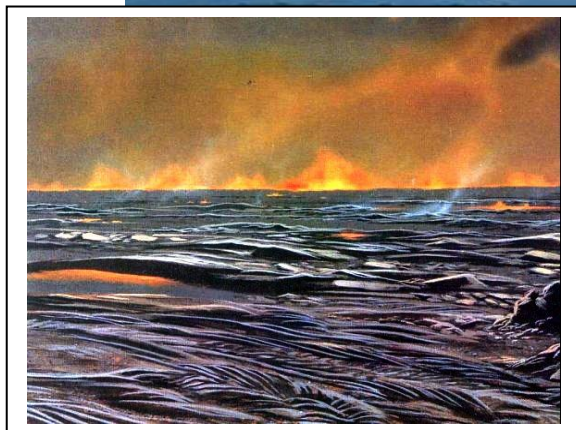
Photo credit: S.J. Mojzsis,

Geochemistry, Geophysics, Geosystems, doi:10.1002/2014GC005313, 2014, eos.org/research-spotlights/archean-rocks-acasta-gneiss-complex)

(Az illusztráció egy ~4 milliárd évvel korábbi helyszínt mutat)

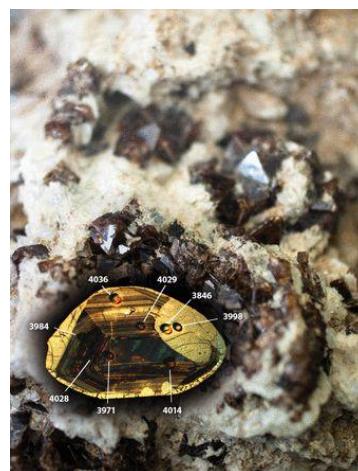


(forrás:geologyin.com/2015/12/the-oldest-known-rock-on-planet-earth.html)



(alchetron.com/Eoarchean)
 Illusztráció, egy ~4,4 milliárd évvel
 korábbi helyszín képét mutatja.

Magmás képződmények szilárd fázisú átalakulásával keletkezett, melynek ideje cirkon ásványba zárva őrződött meg. Az őskontinens, amelyhez tartozott, akkor képződött, amikor a Föld alig múlt félmilliárd éves.



(forrás: magyarmuzeumok.hu/kiallitas/546_a_legoregebb_es_a_legujabb)

Léteznek ennél, is idősebb ásványok, cirkonzemcsék (Jack Hills, Nyugat-Ausztrália 4,404 milliárd éves cirkónium-oxid), de ezek nem alkotnak összefüggő kőzetet. A cirkon (cirkónium-szilikát, $ZrSiO_4$) kemény, ellenálló, tetragonális kristályrácsú, erős fénytörésű ásvány. A cirkonkristályok leggyakrabban magmás eredetű (szilikátosolvadék megszilárdulásából keletkező) gránitkőzetekben fordulnak elő, és állandóságuk miatt különösen alkalmasak kormeghatározásra. A szemcsék korát a bennük kimutatható radioaktív uránizotópok és bomlási végtermékeik (ólomizotópok) részarányaiból határozták meg.



(illusztráció forrása: gorets-media.ru/page/na-poverhnosti-venery-otmechena-vulkanicheskaja-aktivnost)



(forrás: learning-mind.com/what-the-sun-looks-like-all-the-planets/)

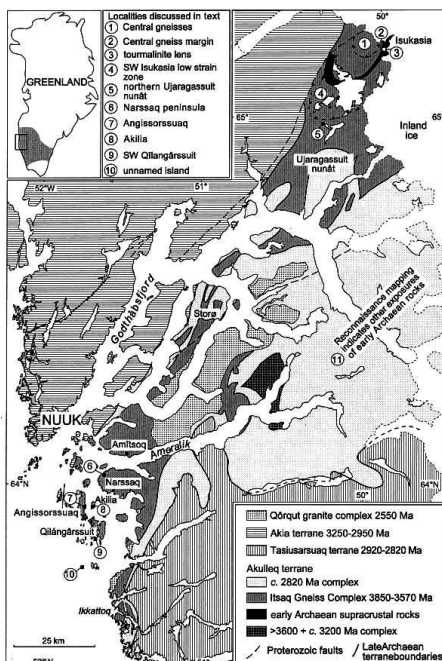
Egy ~4,4-3,8-milliárd évvel korábbi hadaikumi helyszín illusztrációja.

Amitsoq gneisz szintén az egyik legrégebbi kőzetek a világon.

Radiometrikus cirkónia korameghatározás azt mutatja, hogy az eredetileg kialakult tonalit (a gránit kőzet) mintegy 3,8 milliárd évvel ezelőtt keletkezett, és a metamorfózis mintegy 2,7 milliárd évvel ezelőtt következett be.



(forrás: royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsnr.2009.0004)
A sávos szikla az Amitsog gneiss, közel 3,8 milliárd éves a kora.



(forrás: geo.titech.ac.jp/lab/maruyama/MEE/images/rock/amitsog-isua.jpg)
Amitsog gneiss (Isua, Greenland)

A gneisz metamorf sávos kőzet amelyet kovasav (fehér) és mafikus (szürke) sávok alkotnak váltakozva és metamorfózison ment keresztül.

Az élet definíciója

Az élet leggyakrabban használt definícióját a „NASA-definíció”, amit Carl Sagan alkotott meg 1994-ben.

Eszerint az élet egy „önfenntartó, darwini evolúcióra képes kémiai rendszer”. Ez a frappáns definíció egyszerre tűnik kellően általánosnak, hogy ne csak a földi életre vonatkozhasson, és specifikusnak, hiszen valószínűleg megfogalmazza az élő anyag két, már említett lényeges tulajdonságát. Egyrészt ami élő, az anyagcserére képes, „önfenntartó”, másrészt egy élő szervezet apróbb változásokkal örökíteni tudja a tulajdonságait mert a természetes szelekción alapuló „darwini evolúcióra” képes.

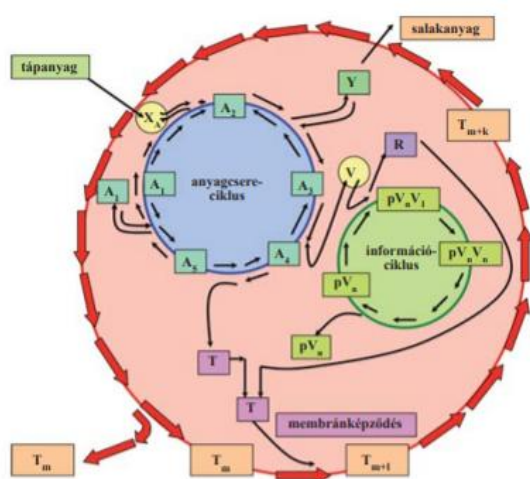
A NASA-definíció arra az általános felismerésre épít, hogy a legegyszerűbb sejtes szervezetektől a legbonyolultabbakig, az összes földi élő szervezet darwini evolúció révén jött létre, egy olyan folyamat során, amelyre a tűz, vagy az autokatalitikusan növekvő kristályok egyáltalán nem képesek. Ezzel párhuzamosan, a replikátornak tekintett vírusokat is kizárjuk a körből, mivel azok önálló anyagcserére képtelenek.

Gánti Tibor (1933–2009) vegyészprofesszor és természetkutató (akadémiai kutató volt az ELTE Genetikai, illetve Növényrendszertani Tanszékén, és az MTA Ökológiai Modellező Csoportjának tudományos tanácsadója) szerint a hiba ott van, hogy a szaporodást és az evolúcióra való képességet az élet abszolút kritériumainak tekintjük, miközben ezek csak lehetséges kritériumok. Bár a legtöbb élőlény képes darwini evolúcióra, az előbbi példák is mutatják, hogy ez nem mindig igaz. Sőt, bár a legtöbb evolúcióra képes szerveződés egyértelműen élőlény is, itt is vannak kivételek: a

legprominensebbek az említett vírusok. Gánti Tibor mindenféle definíció helyett egy absztrakt modellt ajánlott egy minimális élő sejt tulajdonságainak leírására: ez a chemoton.

Gánti-modell

A chemoton-modell absztrakt hálózata, amelyben az anyagcsereciklus, az információhordozó replikációja és a membránnövekedés összekapcsolódik.



147. Egy chemoton modellje

(forrás: physiology.elte.hu/eloadas/bev_biol_biofiz/
BevBiol_biofiz_1_Az_élet_termeszete_2016.pdf)

A chemoton három önreprodukáló alegységet tartalmazó szerveződés, amelyben a membrán alrendszer veszi körbe a metabolikus és vezérlő alrendszereket, így azok a külvilágtól elkülönítve működhetnek. A metabolikus alegység egy önreprodukáló kémiai rendszer, amely a környezetből felvett táplálékokat használja fel működéséhez, melynek során energiát, valamint a másik két alegység működéséhez szükséges alapanyagot termel. A vezérlő alrendszer a chemoton működéséhez felhasználható információt tartalmazza és replikálja. A replikáció esetenként hibákkal jár, ami lehetővé teszi a chemoton evolúcióját, ugyanakkor Gánti hangsúlyozza, hogy ez csak egy „potenciális” életkritérium, a chemoton enélkül is „él”. A három alrendszer működése egy ciklus során a chemoton „megduplázódását” eredményezi.

A chemoton modell nem valódi molekulákból és anyagcsere-utakból épül fel, hanem absztrakt módon mutatja meg, milyen funkcióval és kapcsolatokkal rendelkező alkotóelemek szükségesek a minimális élő szerveződéshez.

A chemoton egyik különlegessége, hogy alapesetben hiányoznak belőle az egyes reakciók lejátszódását elősegítő fehérjék, az enzimek. Eltekintve attól, hogy így eleve kétséges, hogy a valóságban működőképes lenne-e. Egy ilyen rendszer működését a mai földi körülmények közt aligha lehet elképzelni, és persze nagy kérdés, hogy valaha léteztek-e a feltételek a működéséhez. Mindez azonban nem kisebbíti Gánti érdemeit abban, hogy az életről való vitát a listák és leírások szintjéről, a kísérletesen sokkal jobban megfogható és vizsgálható modellek szintjére emelte.

Megemlítendő még a chemoton kapcsán, hogy ezzel a modellel az életet egyértelműen a sejt szintjén próbáljuk megfogni. Mivel a komplex szervezetek maguk is sejtekből épülnek fel, illetve az élet eredete az első protosejtek kialakulása körül keresendő, érthető ez a megközelítés, ugyanakkor az elmélet hasznosságát is behatárolja.

Az élet definícióinak egyik közös problémája, hogy általában nem tudnak mit kezdeni az élet különböző szintjeivel. Másképp tekinthető élőnek egy baktérium, mint egy összetett, többsejtű szervezet, amely esetében nem csak egy kontextusban beszélhetünk életről.

Egy lehetséges élet definíció a sokfél meghatározásból idézve: (forrás: physiology.elte.hu/eloadas/bev_biol_biofiz/BevBiol_biofiz_1_Az_élet_termeszete_2016.pdf)

„Az élő állapot olyan komplex rendezettség, amely megfelelő körülmények között, átáramló energiát felhasználva, szabályozó folyamatok révén fenntartja önmagát. Nem húzható éles határ élő és élettelen között.”

Az élet a fizika szemszögéből

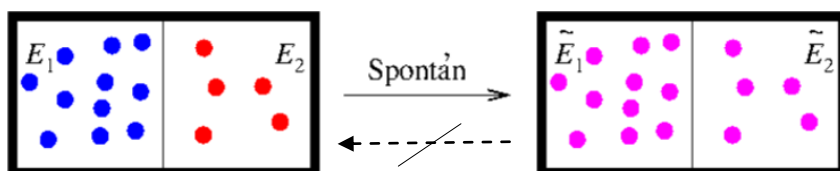
„Minden élő szervezet, akár növényekről, akár állatokról van szó, önmagában egy magas szinten rendezett struktúra, ezért létrejöttük és növekedésük entrópia csökkentő folyamat. Viszont az élet megszűnése után a bomlási folyamatok többé-kevésbé visszaadják ezt az entrópiát a környezetnek. Emiatt összességében az entrópia mérleget az életet fenntartó folyamatok határozzák meg. Növényeknél az asszimiláció és a gyökerek tápanyagfelvétele, állatoknál a lélegzés és a táplálkozás a legfontosabb folyamat az entrópia mérleg szempontjából.” írja Rockenbauer Antal, fizikus, a BME és az ELTE címzetes egyetemi tanára, a Qbit, Tudomány honlapján. (qubit.hu/2019/05/26/dobj-fel-egy-marek-gyongyot-es-nezd-meg-hogyan-irhatjak-at-eletfolyamatok-az-entropianovekedes-torvenyet)

A termodinamika tudományának egyik megalapozója Clausius, Rudolf Julius Emmanuel (1822-1888) német elméleti fizikus. Termodinamikai tanulmányában 1865-ben vezette be a második főtétel még világosabb megfogalmazására az entrópia fogalmát. Jelentős szerepe volt a második főtétel értelmezésében, melyet úgy fogalmazott meg, hogy:

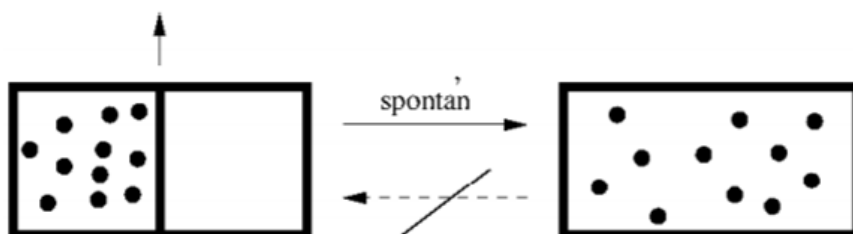
„A hő sohasem megy hidegebb testből melegebb testbe.”

„A világegyetem energiája állandó, entrópiája maximum felé tart.”

Clausius vette észre elsőként, hogy a hő (q) és a hőmérséklet (T) hányadosa termodinamikai tulajdonság. Ezt a tulajdonságot S -sel jelöljük és entrópiának nevezzük: $\Delta S = q/T$.



Spontán termikus folyamat, amely végén beáll az egyensúlyi állapot. Természetesen az energiaváltozás a két alrendszerben ellentétes előjelű. Az entrópiaváltozás azonban pozitív.



Spontán folyamat térfogatváltozás esetén. Az üres és teli részt elválasztó falat kivéve, a gáz betölti a rendelkezésre álló teret és nem megy vissza a kisebb térrészbe. Beáll az egyensúlyi állapot.

(forrás: physics.bme.hu/sites/physics.bme.hu/files/users/BMETE15AF30_kov/elmfiz2_stat.pdf)

Egy összetett rendszer entrópiája az alrendszerek entrópiáinak összege. Az entrópia fogalmának bevezetésével a második főtétel úgy is megfogalmazható, hogy:

„Zárt rendszerben lezajló spontán folyamatok során a rendszer entrópiája csak nőhet, és ez a növekedés mindaddig tart, amíg a rendszer egyensúlyi állapotba nem kerül.”

Clausius több kollégájával együtt úgy vélte, hogy maga a Világegyetem is egy zárt rendszer, amely a termodinamika törvényszerűségeinek engedelmeskedik. Úgy gondolták, hogy a világon minden egy szerkezet nélküli végállapot felé tart, amelyben az energia bármely, jelen világunkban ismert, rendezett formája szertefoszlik.

Az is igaz, hogy a Világegyetem entrópiája az idő múlásával annak ellenére növekedhet, hogy eközben egyes lokális tartományaiban csökken. Ez az, ami sokhelyütt jelenleg is történik. Miközben a Föld bioszférája helyi szinten egyre rendezettebbé válik, entrópia csökkenése kisebb annál, mint amekkora növekedést a Nap és a Föld között hőcsere okoz a Világegyetem entrópiájában. A Természet képes az entrópia helyi csökkentésére, amit a máshol bekövetkező növekedés ellensúlyoz.

A világegyetem entrópiáját tehát minden reverzibilis folyamat állandóan tartja, és minden irreverzibilis folyamat növeli. Ez nem más, mint a jól ismert hőhalál elmélet, amely szerint a világegyetem tökéletes termikus kiegyenlítődés felé halad.

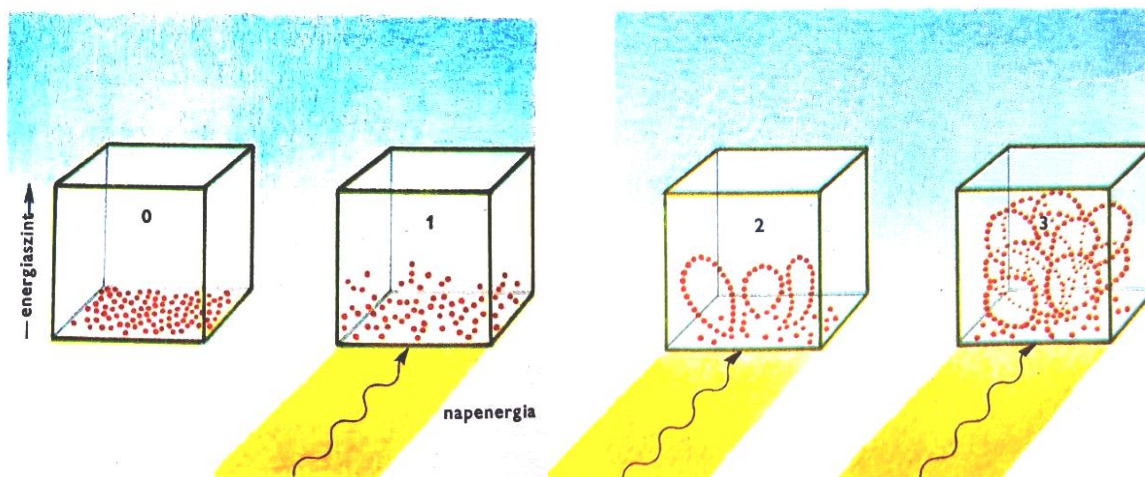
Az élőlények csak olyan folyamatokkal érhetik el magas rendezettségű, tehát alacsony entrópiájú állapotukat, amely folyamatok eredményeként környezetük entrópiája folyamatosan növekszik!

Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961) Nobel-díjas osztrák fizikus, a kvantummechanika egyik atyja a „Mi az élet?” című monográfiájában azt is leírta, hogy bár az entrópia törvényszerűen növekedni kényszerül az idő múlásával egy izolált, avagy zárt rendszerben – de egy nyitott rendszerben az entrópia alacsony szinten tartható úgy, hogy a rendszer a saját környezete entrópiáját növeli. Schrödinger szerint pontosan ezt kell elérnie az élőlényeknek: a növények például felveszik a rendkívül energiadús napfényt, a segítségével cukrokat építenek, és emellett infravörös fényt bocsátanak ki, ami jóval kevésbé energiával teli. Az univerzum entrópiája ezáltal növekszik a fotoszintézistől, még úgy is, hogy a növény elég ügyesen megtartja magában az energiát. (galaktika.hu/az-elet-kezdetes-az-evolucio-az-okok-uj-elmelete/)

Az élet keletkezésének lehetőségeit vitatva gyakran felmerül a kérdés, hogy ha a zárt rendszerben az élettelen anyag a rendezetlenségre törekszik (entrópiája nő), hogyan jöhet ebből létre a bonyolult molekulákból csodálatosan szerveződött élő?

A válasz nagyon egyszerű. Földünk, melyen az élet kialakult, nem zárt rendszer, hiszen kialakulása óta a Nap energiája folyik rajta keresztül. Ez tette lehetővé az élet keletkezését, és ez tartja fenn ma is.

Ha a Nap megszűnne „sütni”, rövid idő alatt a földi élet is elpusztulna.



(forrás: Vida Gábor: Az élet keletkezése, Gondolat Kiadó)

Az anyagciklusok gerjedése energia besugárzás hatására (Csányi Vilmos nyomán)

Ilya Prigogine (1917–2003) orosz származású belga–amerikai kémikus, aki e problémát elméleti oldalról sokat tanulmányozta, megállapította, hogy az élet kialakulása a Földön az adott hőmérsékleti és kémiai feltételek mellett a nyílt rendszerek tulajdonságaiból vezethető le.

Az energia áramban levő nyílt rendszerekben nincs termodinamikai egyensúly, sőt a rendszerben rendezettség jön létre, csökken az entrópia!

Ugyanezt láttuk a Miller-kísérletben is. Itt a napenergiát rendszeres elektromos kisülések pótolták, s ennek hatására az előzőleg stabil egyensúlyban levő gázkeverék (vízgőz, metán, ammónia és hidrogén) magasabb energiaszintű, bonyolult szerves vegyületekké organizálódott.

Prigogine azt is kimutatta, hogy a kezdeti egyensúlyi állapottól való eltérés idővel fokozódik, s ezzel együtt nő a rendszer belső szervezettsége. A kémiai szerveződés főleg az anyagok egyre bonyolultabb körforgásán keresztül jöhet létre.

A kémiai körfolyamatok az élő szervezetek anyagcseréjében is jellemzőek, mint a fotoszintézissel kapcsolatos Calvin-ciklus, vagy az oxigénes légzéssel összefüggő Szent-Györgyi-Krebs-ciklus.

Az élő sejtben nagyon sok ilyen „molekulakerék” forog, s ezek annyira lényegi sajátjai minden élőnek, hogy Gánti Tibor ezen keresztül modellezte az élő rendszert. A legegyszerűbb ilyen rendszert három kerék forgatja.

A legfontosabb az anyag- és energiaszolgáltató kerék. Ez kívülről energiadús anyagot vesz fel, s cserébe energiaszegény salakanyagot ad le. Az anyag- és energiaszolgáltató kerék termeli a másik két alrendszer („kerék”)

alapanyagait is. Mindemellett e kémiai körforgás önszaporító is. Minden körforgással megkettőződik a kerék!

Önszaporító kémiai körfolyamat az élő sejtben is van, s az élettelen kémiai rendszerekben is ismert (pl. az úgynevezett formóz reakció). A háromkerékű modellben ugyanilyen önszaporító a másik két kerék is, s ez teszi lehetővé az egész háromkerékű rendszer szinkronizált szaporítását. A második „kerék” a membránépülés körfolyamata. A modellsejt membránjába újabb és újabb építőelemek épülnek be, majd kétszeresére növe két membrángömbbé válik szét. A harmadik „kerék” a nukleinsav-épülés modellje.

A nukleinsav-építőkövek (nukleotidok) a régi nukleinsavat szétválasztva kettőzik meg.

Ebben a rendszerben az az érdekes, hogy enzimek nélkül is működik.

Ha e modellhez vezető módon jött létre az első élő sejt is, akkor a sejtek anyagcsereútjai előbb alakultak ki, mint maga a sejt. Az élet kerekai már az „őslevesben” forogtak, s az óriásmolekulák csak később, a membránnal körülhatárolt sejtszerű képződményben jutottak fokozatosan biológiai szerephez.

A körfolyamatok fontosságát az élet keletkezésében - ugyancsak elméleti megfontolások alapján - Manfred Eigen (1927–2019) német biofizikai vegyész is hangsúlyozta. Modelljében azonban az információhordozó makromolekulák kapják az elsődleges szerepet. RNS-vírusokkal végzett korábbi kísérletek tanúságai alapján indult el. E vírusok RNS-molekulái néhány ezer nukleotid építőköből állnak. Megfelelő körülmények között e molekulák kémcsőben is szaporíthatók, ha az RNS szintéziséhez szükséges anyagokon kívül a megfelelő enzimet is biztosítjuk. A kísérletek során Spiegelman és munkatársai azt tapasztalták, hogy az eredeti RNS-molekula jelentősen megrövidült az osztódások során, mivel csak azok a részek maradtak meg, ahol az őket szaporító enzim hozzájuk kötődött. Az RNS-molekulák rövidülése lemásolási hiba, azaz mutáció volt. Ez előfordulhatott az RNS bármely részén, de az enzimek helyen megváltozó RNS-ek nem tudtak tovább szaporodni. E molekulák tehát a kémcsőben talált feltételekhez darwini szelekcióval alkalmazkodtak.

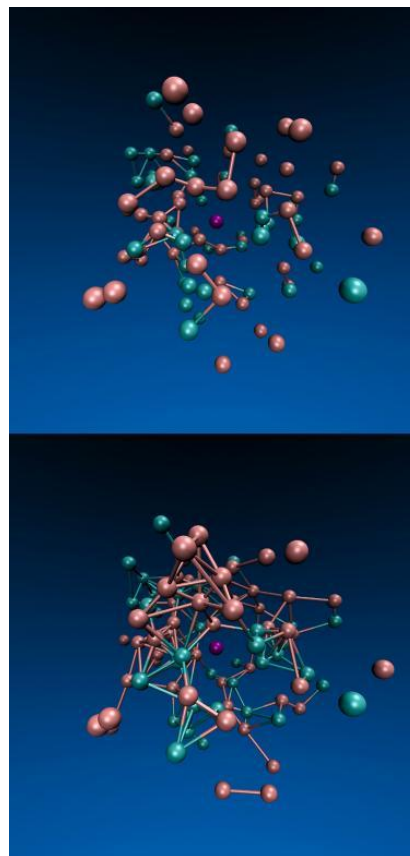
Jeremy England, az MIT (Massachusetts Institute of Technology) fizikusa, szerint az élet megszületése matematikai szempontból elkerülhetetlen. Kifejlesztett egy matematikai képletet, amely alapján az anyag bizonyos körülmények között mindenképpen megszerzi az élet kialakulásához szükséges feltételeket. Eredményeit a Chemical Physics című szaklapban publikálta.

(AIP The Journal of Chemical Physics J. Chem. Phys. 139, 121923 (2013); doi.org/10.1063/1.4818538, aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4818538)

Az elmélet központi eleme a termodinamika második főtétele. „Általában azt mondhatjuk, hogy: lényege hőre vonatkoztatva, hogy a meleg dolgok lehűlnek; a gázok szétszóródnak a levegőben – azaz az energia idővel eloszlik. Ezt a folyamatot mérjük az entrópiával: számszerűsíthető, mennyi részecske oszlik el egy rendszerben. A rendszerek az entrópiái maximumhoz tartanak, ez a termodinamikai egyensúly, ilyenkor az energia egyenletesen oszlik el.”

Tehát zárt rendszerben egyre nagyobb lesz az entrópia – a nyílt rendszereknek viszont alacsonyan kell tartaniuk az entrópiát, ezért szétszórják a megszerzett energiát. A fizika szempontjából van egy nagyon fontos különbség az élő és élettelen molekulák között ebben a kérdésben: előbbiek sokkal könnyebben szereznek energiát környezetükből, majd szórják szét azt hő formájában.

England előállt egy matematikai képlettel, amely leírja ezt a képességet: amikor egy csoport atomra hat egy erős külső energiaforrás (mint mondjuk a Nap vagy folytonos kémiai reakciók), miközben egy meleg “fürdő” veszi körbe (akár óceán, akár atmoszféra), akkor a csoport fokozatosan átstrukturálja magát, hogy egyre több energiát tudjon felvenni. Ez azt jelenti, hogy bizonyos körülmények között az anyag megszerzi az élethez társított fizikai tulajdonságokat.



A Jeremy England és munkatársai által végzett számítógépes szimuláció részecskék rendszerét mutatja be egy viszkózus folyadékban, amelyben a türkiz részecskéket egy oszcilláló erő hajtja. Az idő múlásával (fentről lefelé) az erő több kötés kialakulását váltja ki a részecskék között.

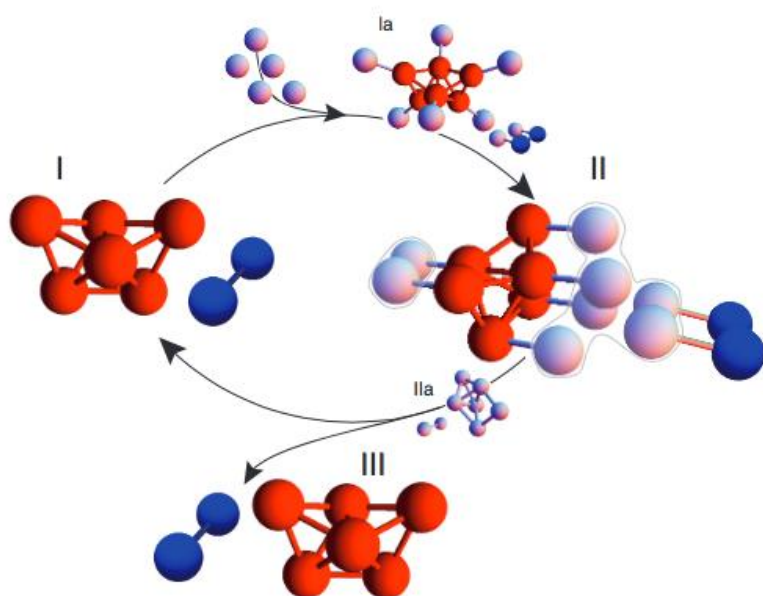
(forrás: A New Physics Theory of Life, www.quantamagazine.org/a-new-thermodynamics-theory-of-the-origin-of-life-20140122/)

England elmélete alapján az az evolúciós variáns lesz a végeredménye a fejlődésnek, amely több energiát fogad be és oszt szét – azaz az élet evolúciója az egyre növekvő entrópiát gyártó változatok mentén halad. Erre a növekvő energiakibocsátásra jó megoldás az önreplikáció, önmásolás – azaz, tulajdonképpen a szaporodás.

“Nem azt mondom, hogy Darwin elképzelései tévesek. Ellenkezőleg, annyit mondom, hogy a fizika szemszögéből nézve a darwini evolúció egy általános jelenség egy esete.”

A szakember kollégáival a legmodernebb számítógépes szimulációkkal vizsgálta meg, hogy mi történik az alapvető kémiai vegyületekkel egy olyan környezetben, mint amilyen a korai Földön is uralkodott.

Az első tanulmányban Englandék azt írják le, hogy az életszerű atomszerkezetek spontán keletkeznek. Fontos leszögezni, hogy a biológiai tényezőket, mint például a DNS-ek kialakulását nem vezették be a szimulációba. A második publikáció már azt mutatja be, hogy egy külső energiaforrás, jelen esetben a Nap, minként tudja rávenni ezeket az atomokat arra, hogy az energia hatékonyabb elnyeléséért és kibocsátásáért átrendezzék magukat. A kísérletben talán az a legérdekesebb, hogy az életszerű struktúrák idővel elkezdtek másolni magukat.



(forrás: Jeremy L. England,
Department of Physics,
Massachusetts Institute of Technology,

A New Physics Theory of Life,
www.quantamagazine.org/a-new-thermodynamics-theory-of-the-origin-of-life-20140122/)

Önreplikáló gömb-klaszterek: A Harvardon végzett új kutatások szerint a mikrogömbök felületének bevonása spontán módon összeállhat egy kiválasztott szerkezetbe, például egy poliétetraéderbe (piros), amely azután a közeli gömböket azonos szerkezet kialakításához váltja ki.

Ötletét több fizikus vitatja, elméleti eredményeit viszont (matematikailag) mindenki érvényesnek tartja, úgy is, hogy a képlethez egyelőre nincs több bizonyíték.

Az élet az entrópia gyorsított növekedéséhez vezet

Az ősi Föld atmoszférája döntően magas széndioxid gázból épült fel, amely az üvegházhatás miatt a jelenleginél jóval magasabb hőmérsékletet hozott létre. Az egysejtű baktériumok fejlődése során kialakult a széndioxidot felbontó asszimilációs mechanizmus. Ennek alapja, hogy felbontáskor a széndioxid atmoszféra entrópiája annyira megnövekszik, hogy lehetőséget ad helyi rendezettség-növelő, entrópia csökkentő mechanizmusok létrejöttére is. Az élet létrejötté azonban nemcsak összhangban van a termodinamika második főtörvényével, hanem annak gyorsított érvényesülését is elősegíti. Az élő szervezetek növekedési és pusztulási szakaszai együttesen kiegyenlítik az entrópia mérleget, viszont a kettő közötti életfenntartó folyamatok már egyértelműen megnövelik az entrópiát.

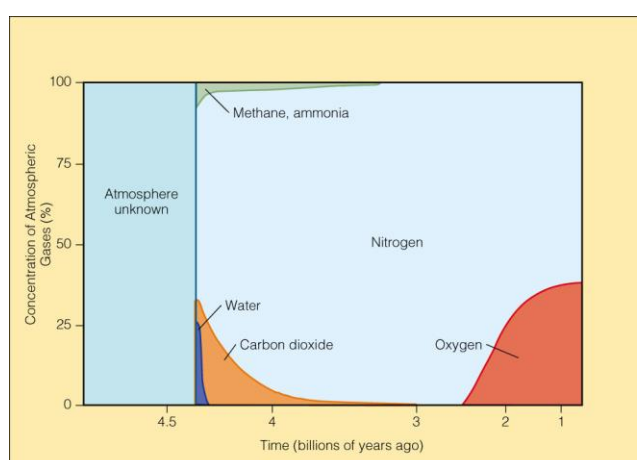
A Földtörténet során a növényi asszimilációs folyamatok fokozatosan csökkentették a légkör széndioxid koncentrációját és megnövelték az oxigénét. A széndioxid koncentráció csökkenése viszont lehűlést okozott, ami visszafogta a növényvilág fejlődését. Az állatok megjelenése fordulatot hozott a további lehűlés megakadályozásával, visszapótolva a széndioxidot a lélegzés által. A lélegzés ugyan önmagában entrópia csökkentő folyamat a szén és oxigén egyesítése miatt, de ugyanakkor az „elégetett” szén magas rendezettségű szerves vegyületekből származik, ami már entrópia növekedéssel jár. Az anyagcsere egyértelműen entrópia növelést okoz, hiszen a magasan rendezett növényi és állati struktúrák elfogyasztásán alapul, amely szétbontási folyamat. A születés, növekedés és elmúlás entrópia kiegyenlítő hatása miatt a teljes életciklus nagymértékű entrópia növekedést hoz magával.

Összességében tehát úgy foghatjuk fel az élet kialakulását, mint egy olyan folyamatot, amely felgyorsítja a földi entrópia növekedését.

A Föld nem zárt rendszer, hiszen az éltető energia a Naptól érkezik. A Nap maga a fúziós folyamatok miatt nem csak energiát, hanem entrópiát is termel. Bár a hélium magok felépítése a protonokból entrópia csökkenést jelent, de a fúziós láncreakció lépéseiben neutrínók és fotonok kibocsátására kerül sor. Ezért az összrészecske szám a fúzió során megnövekszik, és így nemhogy csökkenne, hanem növekszik az entrópia. Különösen a szabad energia növekszik nagymértékben a fúzió rendkívül magas hőmérséklete miatt. A Föld és Nap együttes rendszerét már jó közelítésben vehetjük zárt rendszernek, ha elhanyagoljuk a kozmikus sugárzást és az aszteroida becsapódásokat. Ebben a rendszerben a Nap nemcsak a sugárzott energiával, hanem entrópiájával is segíti bolygónkon az élet kialakulását. (Rockenbauer Antal, fizikus, a BME és az ELTE címzetes egyetemi tanára, qubit.hu/2019/05/26/dobj-fel-egy-marek-gyongyot-es-nezd-meg-hogyan-irhatjak-at-eletfolyamatok-az-entropianovekedes-torvenyet)

Az abiogenezis

Napjainkban több elmélet is született, de még nem tisztázott, hogy a szerves molekulákból milyen módon jöttek létre az első sejtes szerveződésű élőlények, melyek megjelenésével kezdetét vehette a biológiai evolúció. Az élőlényekben ugyanazokat a kémiai elemeket találjuk, mint az élettelen környezetünkben. Ha az egész Naprendszert vizsgáljuk, ott az elemek több mint 99 százalékát a hidrogén (H, 92,38%) és a hélium (He, 7,46%) alkotja. A maradék viszont meglepően magas arányban tartalmazza az élőkre oly jellemző, O-, C- és N-elemeket.



© 2007 Thomson Higher Education

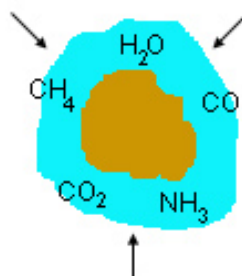
ember	rendszám, elem	légkör	óceán	föld-kéreg	Föld	Naprendszer
63,00	1 H	0,01	64,33	2,88	0,12	92,38
—	2 He	—	—	—	—	7,46
9,40	6 C	0,01	0,01	0,05	0,09	0,05
1,30	7 N	78,98	—	0,04	—	0,01
25,60	8 O	21,00	32,16	62,55	48,88	0,08
0,04	11 Na	—	1,46	2,64	0,64	—
0,01	12 Mg	—	0,17	1,84	12,5	0,005
—	13 Al	—	—	6,47	1,30	—
—	14 Si	—	—	21,22	14,00	0,005
0,20	15 P	—	—	0,08	0,14	—
0,04	16 S	—	0,09	—	1,40	—
—	17 Cl	—	1,71	—	0,04	—
0,04	19 K	—	0,03	1,22	0,05	—
0,30	20 Ca	—	0,03	1,70	0,46	—
—	26 Fe	—	—	1,92	18,87	—
—	28 Ni	—	—	—	1,4	—

(forrás: web.calpoly.edu/~jpoling/PSc_201_new/atmosphere_evolution.jpg, Vida Gábor: Az élet keletkezése, Gondolat Kiadó)

szén és szilikát alapú szemcsék keletkezése hideg csillaglégkörökben és ledobott héjakban

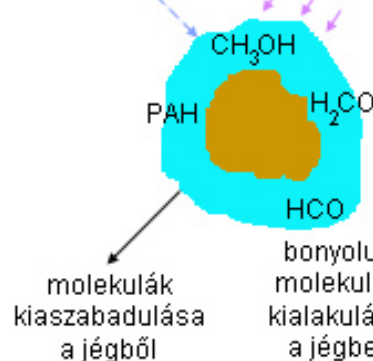


gázok kikondenzálódása a szemcsék felületére



kozmosz sugarak

ultraibolya sugárzás



A porszemcsék és a hozzájuk kapcsolódó anyagok fejlődésének három egyszerűsített, jellemző fázisa: porszemcsé keletkezése, gázok kikondenzálódása, kivált anyagok átalakulása. A 2. és 3. fázis váltakozva is előfordulhat, réteges szerkezetű szemcséket produkálva. (forrás: MCSE)

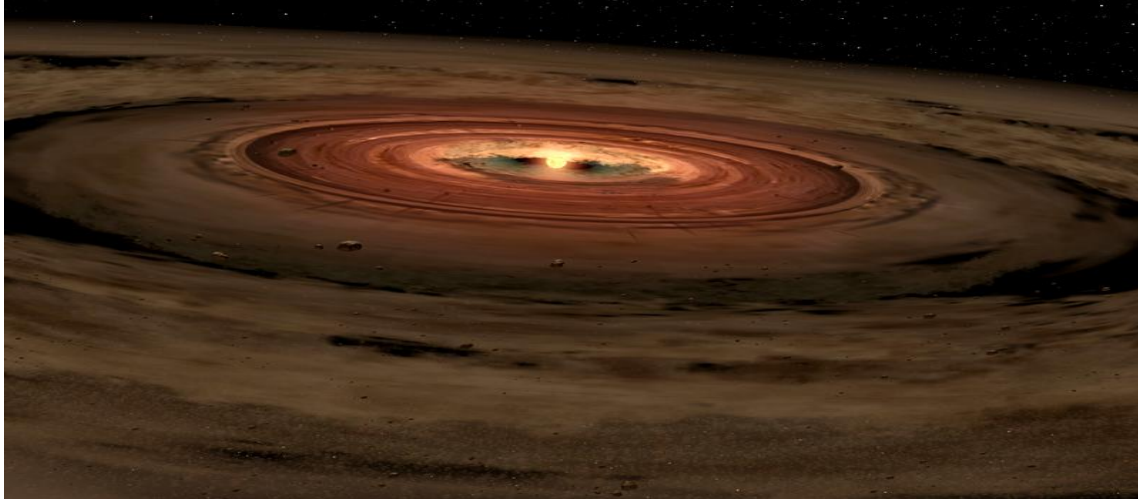
A porszemcsék felületén megtapadó molekulák egymással reakcióba léphetnek. A vízmolekulákat is tartalmazó szemcséket érő ultraibolya sugárzás és a kozmikus sugarak nyomán összetett szerves molekulák is képződhetnek a hideg porszemcsékben. Ma már több mint százötven különféle molekulát azonosítottak a csillagközi térben, például: glikoaldehid (HOCH_2CHO), acetamid (CH_3CONH_2), a ciklopropenon ($\text{H}_2\text{C}_3\text{O}$), a propenal (CH_2CHCHO), a propanal ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$), a ketenimin (CH_2CNH), különféle sokgyűrűs aromás szénhidrogének, és glicin ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) aminosavat is.

2 atoms		3 atoms		4 atoms	5 atoms	6 atoms	7 atoms	8 atoms
H_2	CP	H_3^+	MgCN	CH_3	NH_3D^+	C_2H_4	CH_3NH_2	CH_3CHNH
LiH ?	AlO	CH_2	NaCN	NH_3	CH_4	CH_3OH	$\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}$	CH_2CHCHO
CH	CS	NH_2	C_2S	H_3O^+	CH_2NH	CH_3CN	CH_3CHO	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CN}$
CH^+	SiO	H_2O	OCS	C_2H_2	SiH_4	$\text{CH}_3\text{NC} ?$	$c\text{-C}_2\text{H}_4\text{O}$	CH_3COOH
NH	PN	H_2O^+	SO_2	H_2CN	CH_3O	CH_2CNH	CH_2CHOH	CH_2OHCHO
OH	NS	C_2H	$c\text{-SiC}_2$	HCNH^+	H_2COH^+	NHCHCN	CH_2CHCN	HCOOCH_3
OH^+	AlF	HCN	SiCN	H_2CO	$c\text{-C}_3\text{H}_2$	NH_2CHO	C_6H	$\text{CH}_3\text{C}_3\text{N}$
HF	PO	HNC	SiNC	H_2O_2	H_2C_3	CH_3SH	C_6H^-	CH_2CCHCN
C_2	SO	HCO	C_2P	$\text{PH}_3 ?$	CH_2CN	C_4H_2	HC_5N	C_6H_2
CN	SO^+	HCO^+	AlNC	C_3H	HNCNH	H_2C_4		H_2C_6
CN^-	NaCl	HOC^+	KCN	$c\text{-C}_3\text{H}$	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}$	HC_4N	9 atoms	C_7H
CO	SiS	N_2H^+	TiO_2	C_3H^+	NH_2CN	HC_3NH^+	CH_2CHCH_3	10 atoms
CO^+	AlCl	HNO	FeCN	HC_2N	HCOOH	HC_2CHO	CH_3OCH_3	CH_3COCH_3
N_2	TiO	HO_2		HNCO	C_4H	$c\text{-H}_2\text{C}_3\text{O}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	$\text{OHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
NO	FeO ?	H_2S		HCNO	C_4H^-	C_5H	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CN}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$
CF^+	KCl	H_2Cl^+		HOCN	HC_3N	C_5N	CH_3CONH_2	$\text{CH}_3\text{C}_5\text{N}$
SiH ?		HCP		HCO_2^+	HC_2NC	C_5N^-	$\text{CH}_3\text{C}_4\text{H}$	11 atoms
O_2		N_2O		H_2CS	HNC $_3$		C_8H	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OCHO}$
SH		AlOH		C_3N	CNCHO		C_8H^-	$\text{CH}_3\text{COOCH}_3$
SH^+		CO_2		C_3N^-	C_5		HC_7N	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}$
HCl		HCS^+		C_3O		>12 atoms		HC_9N
HCl^+		C_2O		HNC $_3$		HC_{11}N		12 atoms
SiC		C_3		HSCN		$\text{C}_{14}\text{H}_{10}^+ ?$		$\text{C}_2\text{H}_5\text{OCH}_3 ?$
SiN		MgNC		$c\text{-SiC}_3$		C_{60}		$\text{C}_3\text{H}_7\text{CN}$
				C_3S		C_{60}^+		C_6H_6
						C_{70}		

Táblázat: Csillagközi térben és Circumstellar korongban (csillag körül formálódott anyagkorongban) kimutatott molekulák (2013. július) (arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1310/1310.3651.pdf)

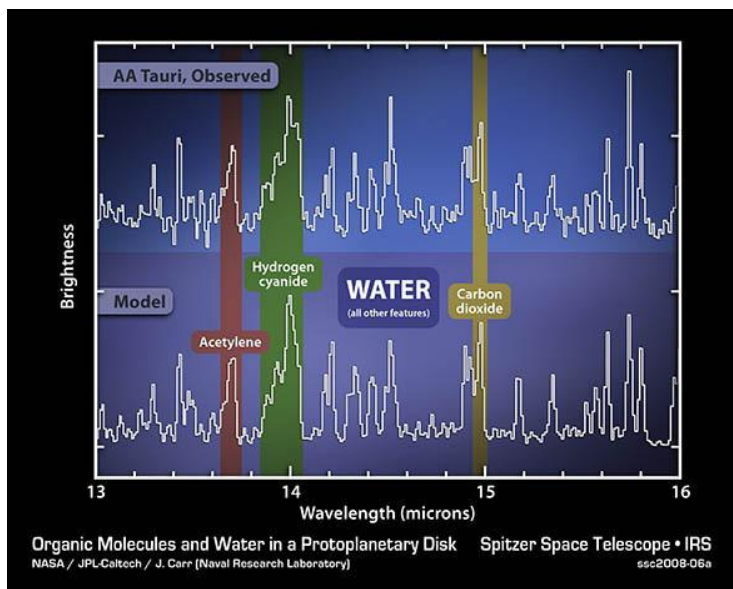
A hatnál több atomot tartalmazó csillagközi molekulák mind szénalapúak, az eddig azonosított egyik igen összetett képviselőjük a tizenhárom atomot tartalmazó HC_{11}N (cyanopolyne). Laboratóriumi vizsgálatok alapján nemcsak az ionok (főleg a kozmikus sugartól keletkezett reakcióképes H_3^+), hanem akár 10–20 K-en a semleges atomok között is bekövetkezhetnek olyan reakciók, amelyek újabb molekulákat eredményeznek.

John Carr (Naval Research Laboratory, Washington), és Joan Najita (National Optical Astronomy Observatory, Tucson, Ariz.) egy új technológiát alkalmazva vizsgálták a NASA Spitzer-űrteleszkóppal az AA Tauri csillag körüli protoplanetáris korongot.



(forrás: Fantáziarajz egy protoplanetáris korongról, Spitzer Finds Organics and Water Where New Planets May Grow, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2008-042)

A 450 fényévre lévő, egymillió évnél fiatalabb rendszer centrumában egy csillag formálódik, a körülötte lévő anyagkorongban pedig születő bolygók csírái találhatóak.



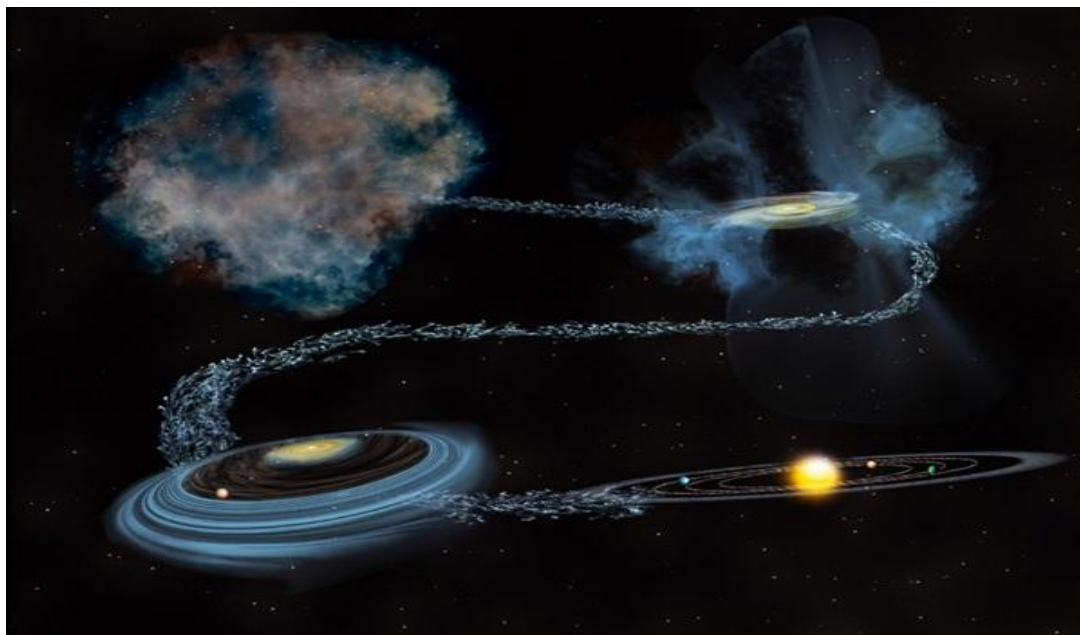
A korong anyagában nagy mennyiségű vízgőzt, hidrogén-cianidot, acetilént és szén-dioxidot azonosítottak. A megfigyelés érdekessége, hogy a korongban több egyszerű szerves anyagot találtak, mint ami a környező csillagközi felhőben mért koncentráció alapján várható lett volna, és amelyből a kérdéses rendszer kialakult.

(forrás: NASA Spitzer Space Telescope, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, www.spitzer.caltech.edu/images/1906-ssc2008-06a-A-Young-Stellar-Disk-around-AA-Tauri)

A földi élet létrejöttében és fejlődésében alapvető szerepet játszó víz egy része egy új kutatási eredmény szerint jég formájában került a csillagközi térből a Naprendszerünk területére, még annak kialakulása előtt.

Conel Alexander (Carnegie Institution) és kollégái azt munkájukban állítják, hogy a Naprendszerben jelen lévő víz nagy része olyan jégből származik, amely az interisztelláris térben keletkezett, még csillagunk és bolygórendszerünk születése és formálódása előtt.

A Naprendszerben a víz sok helyütt megtalálható, nem csak a Földön: a jeges üstökösökön és holdakon, a Merkúr árnyékos medencéiben, de a Holdról és a Marsról származó meteoritok ásványi mintáiban is kimutatták a jelenlétét. Különösen érdekesek az üstökösök és a kisbolygók, amelyek egyfajta „időkapszulaként” őrzik az ősi Naprendszerben uralkodó feltételek nyomait. A bennük lévő jég nyújthat információt arról a még ősből jégről, ami a Napot a születése után körülvette, és amelynek eredete mostanáig tisztázatlan volt.

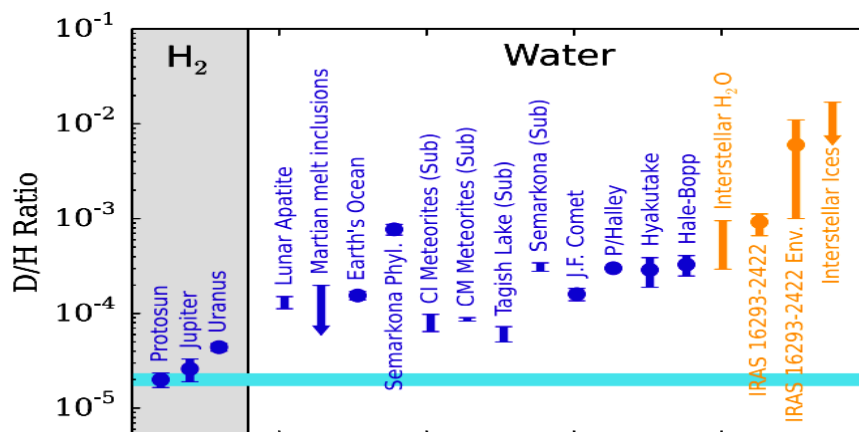


(forrás: astronomy.com/news/2014/09/earths-water-is-older-than-the-sun)

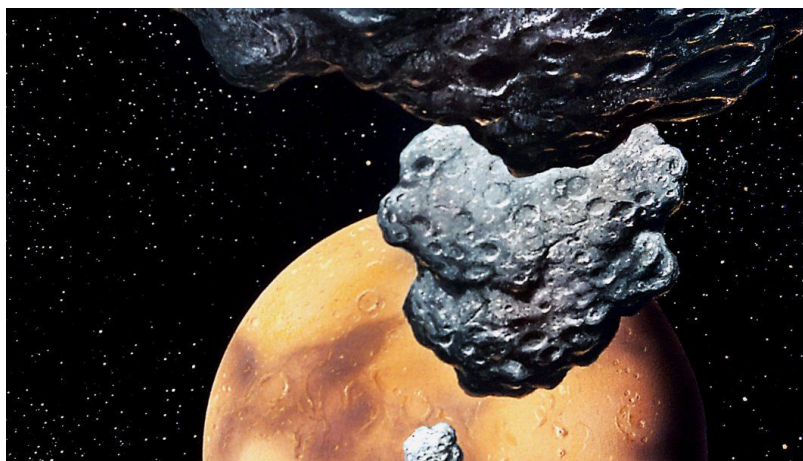
Az illusztráció a Naprendszerben található vizet mutatja a különböző fejlődési szakaszokban, a Nap születése előtti időktől a bolygók kialakulásának időszakáig. (illusztráció: Bill Saxton, NSF/AUI/NRAO)

A naprendszerbeli jég történetét kutató csoport, amelynek vezetője L. Ilseidore Cleaves (University of Michigan), a hidrogénre és izotópjára, a deutériumra fókuszált. Az izotópok az eltérő neutronszám miatt eltérő tömegűek, így a kémiai reakciókban másként viselkednek. A Földön a vízmolekulák túlnyomó részében az oxigén mellett két hidrogénatom található, de léteznek olyanok is, ahol a hidrogént deutérium helyettesíti (nehésvíz).

A kétfajta vízmolekula aránya információt hordoz arról, hogy a molekulák milyen körülmények között alakultak ki. Az interisztelláris vízjégben a formálódáskori alacsony hőmérséklet miatt a deutériumos vízmolekulák aránya jóval magasabb, mint a földi arány. Eddig nem volt ismert, hogy a deutériumtöbbletnek hányad része tűnt el a Nap születése során zajló kémiai folyamatoknak köszönhetően, illetve mennyi nehésvizet termelt a korai Naprendszer maga.

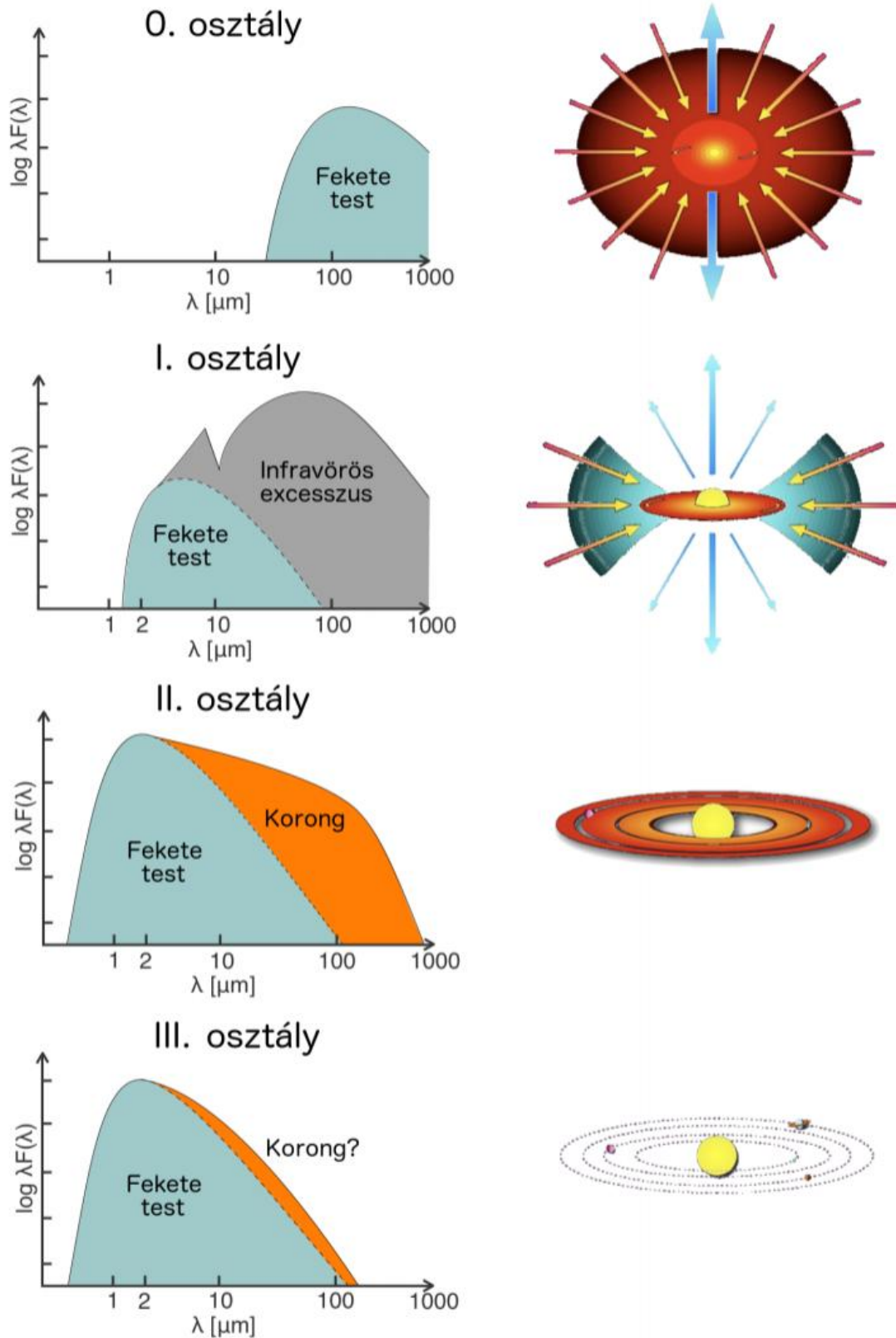


(forrás: L. Ilesdore Cleaves, Edwin A. Bergin, Conel M. O'D. Alexander, Fujun Du, Dawn Graninger, Karin I. Öberg, and Tim J. Harries: The ancient heritage of water ice in the solar system. Science, 26. 09. 2014: 1590-1593 DOI: 10.1126/science.1258055, és www.researchgate.net/publication/266204347_The_ancient_heritage_of_water_ice_in_the_solar_system www.sciencedaily.com/releases/2014/09/140925141226.htm)



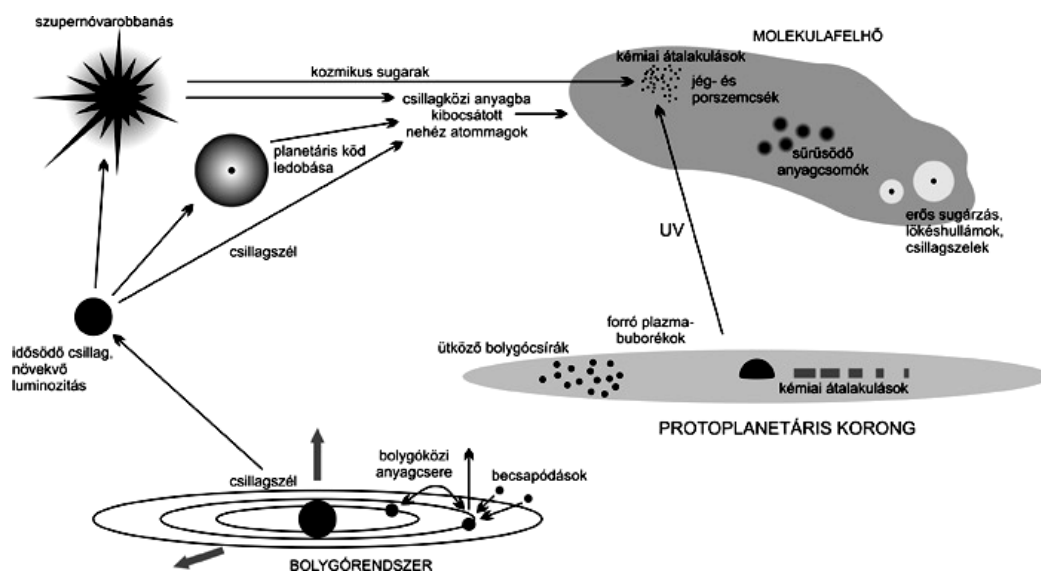
(forrás: www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-a-naprendszer-keletkezesese-es-fejlodesese/viz-fold-nap-idos/)

Alexander összegzése szerint tehát a naprendszerbeli víz jelentős része idősebb, mint a Nap, ami azt jelzi, hogy a szerves anyagokban gazdag interisztelláris jég valószínűleg minden fiatal bolygórendszerben megtalálható.



1.1. ábra. A fősorozat előtti csillagfejlődés főbb fázisai. A spektrális energiaeloszlások forrása: Magnus Vilhelm Persson (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.1121574.v2>), a vázlatok forrása: Mark McCaughrean.

(forrás: real-d.mtak.hu/1067/7/dc_1488_17_doktori_mu.pdf)



(www.matud.iif.hu/2009/09okt/03.htm)

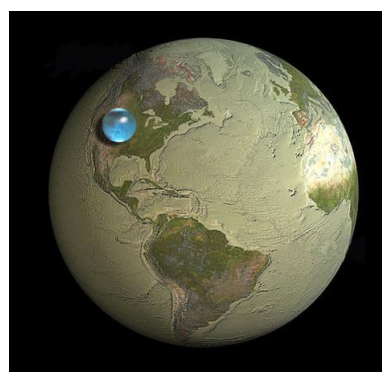
Az anyagfejlődés asztrobiológiai szempontból fontos, egymással összekapcsolódó lépése.

Az anyag további fejlődésére olyan környezetben nyílik lehetőség, ahol nagy a nehézelemek és a szerves molekulák koncentrációja. Energia van a molekulák kombinálódásához, de nincs annyira meleg, hogy azok mind lebomoljanak. Emellett hasznos valamilyen folyékony közeg is, amelyben a kérdéses molekulák könnyen mozoghatnak, egymással gyakran találkozhatnak. Minderre a bolygók az ideálisak...– olvashatjuk Kereszturi Ákos asztrobiológus (Mars Asztrobiológia Kutatócsoport) „Asztrobiológia – modern szintézis a természettudományok között„ című írásában (Magyar Tudomány, 2009/10, 1168.).

Az élet születésének úgynevezett „prebiotikus evolúció”-ja során nem az élőlények harcoltak a fennmaradásért folyó küzdelemben, hanem kémiai, biokémiai reakciók sorozata zajlott egymással párhuzamosan az adott földi körülményeknek legmegfelelőbb makromolekulák és reakcióutak fennmaradását eredményezve. A „reakciók csatájának” kezdetén a Földet túlnyomó részben szervesetlen molekulák uralták. A légkörből hiányzott az oxigén, a mainál sokkal redukálóbba atmoszféra nitrogént, vízgőzt, szén-dioxidot, szén-monoxidot, hidrogént, esetleg ammóniát és metánt tartalmazhatott. Mivel a szén-dioxid mennyiségét, és ezáltal a földi ösléghőkört felmelegítő üvegházhatást éppúgy nehéz megbecsülni, mint a vulkáni tevékenység kiterjedését, nincsenek pontos fogalmaink arról, hogy a földi ósóceán mennyiben volt folyékony, illetve fagyott. A földköpeny számos olyan szilikátból, agyagásványból, piritből és más anyagokból álló felületet kínált, amely alkalmas volt bizonyos kémiai reakciók szelektív meggyorsítására, katalízisére. Ezek voltak a legfontosabb elemei annak a színtérnek, amelyen az élet keletkezéséhez vezető folyamatok zajlottak.

Meteoritok szállíthatták a földre a vizet és szerves összetevőket az élethez

A Naprendszer keletkezésének pillanatától az egyes bolygókra folyamatosan záporoznak a törmelékek, miközben krátereket hoznak létre a felszínen. Ez legintenzívebben a bolygók összeállása után történt, majd átmenetileg csökkent az aktivitás. A nagyobb égitestek kialakulásának befejező fázisában újra megnőtt a becsapódások gyakorisága, amit „Kései Nagy Bombázási Időszak”-nak neveznek. Közel 4,0-3,9 milliárd évvel ezelőtt sok hatalmas becsapódás történt. Robert Strom (University of Arizona) és kollégáinak vizsgálatai alapján a kérdéses kataklizmára 3,9 milliárd évvel ezelőtt egy igen rövid, 20 és 150 millió év közötti periódusban került sor.



(illusztráció forrása: timetrek.aikavaellus.fi/timetravel/4000/)

A Föld korai fejlődéstörténetben, különösen az élet kialakulása szempontjából egyik fontos tényező a földkéreg kialakulása.

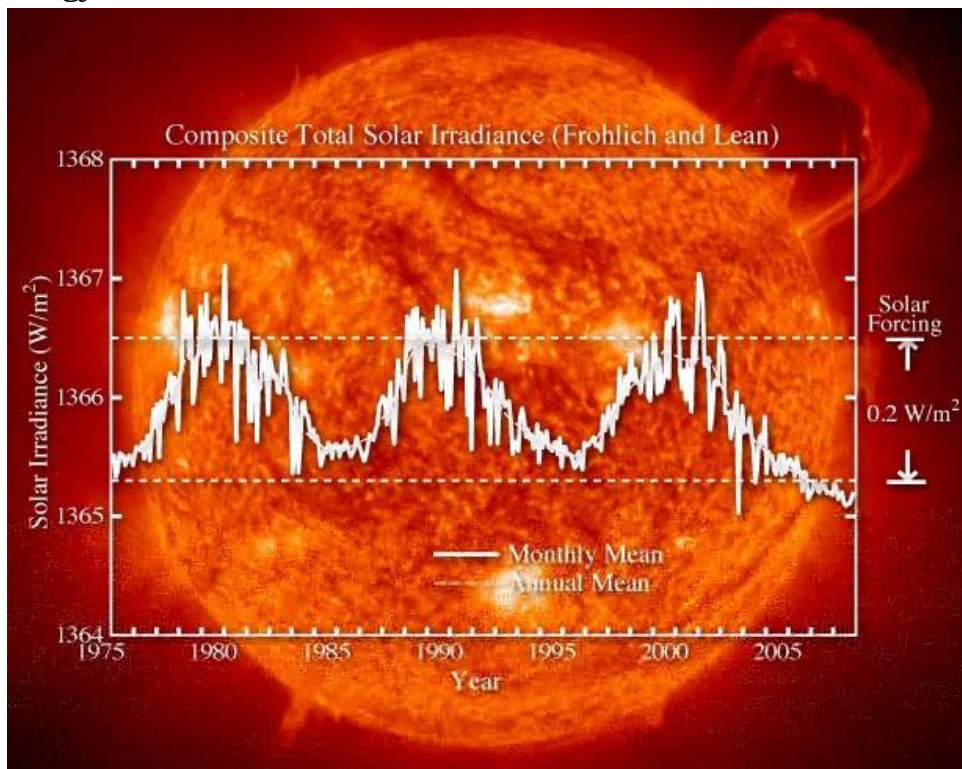
A „Kései Nagy Bombázás” során a Földre hullott anyag legnagyobb része a felszínen maradt, mert a Föld egésze már nem volt annyira olvadt állapotban. A becsapódások esetleg többször is elpárologtathatták a kialakuló óceánok vizét, és kipusztíthatták a talán már többször is kialakult életet. Számítógépes szimulációk eredményei viszont azt mutatják, hogy a bombázás legintenzívebb időszakában is a földkéreg maximum 25%-a volt olvadt, és védett helyeken a hőkedvelő mikroorganizmusok fennmaradhattak.

A földkéreg széntartalmának jelentős része nem mészkő formájában volt jelen (mint ma), hanem szabad szén-dioxidként.

A 10–20 bar szén-dioxid üvegházhatása a légkörben az akkori napsugárzás mellett (a jelenleginek csupán kb. 75%-a volt és csak fokozatosan erősödött fel mai értékére) 85–110 °C-os átlagos hőmérsékletet jelenthetett a Föld felszínén. Ilyen nyomás mellett a víz 100 °C felett is folyékony halmazállapotban van (10 bar nyomáson a víz forrponjtja ~181 °C).

(www.termesztvilaga.hu/tv99/tv9901/balkez2.html)

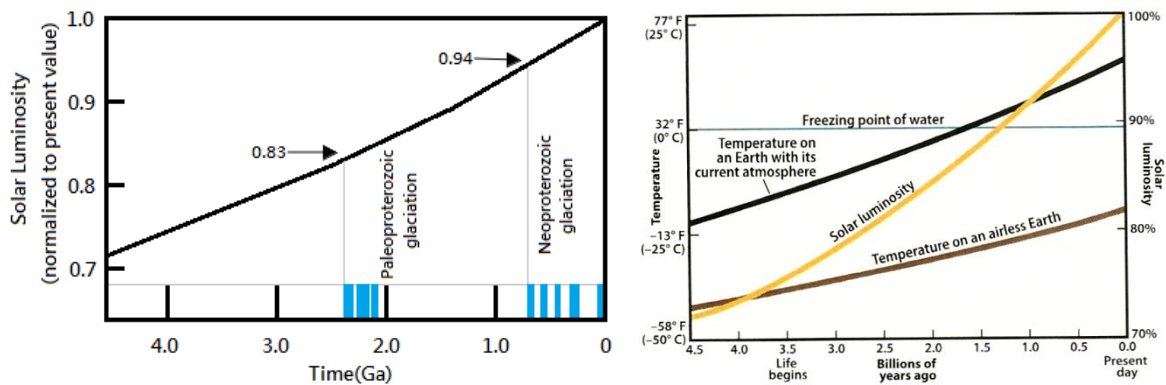
Ezt a helyzetet a „hideg nap” paradoxonként szokták emlegetni. A probléma megértése céljából tekintsük a jelenlegi napállandót (a napsugárzásra merőleges felületegységen időegység alatt áthaladó energia: 1370 W/m^2) és számoljuk ki, hogy mekkora lenne légkör nélkül a Föld átlagos hőmérséklete, feltételezve, hogy az albedó (a beérkező és a visszavert napsugárzás aránya) 0,3-mal egyenlő.



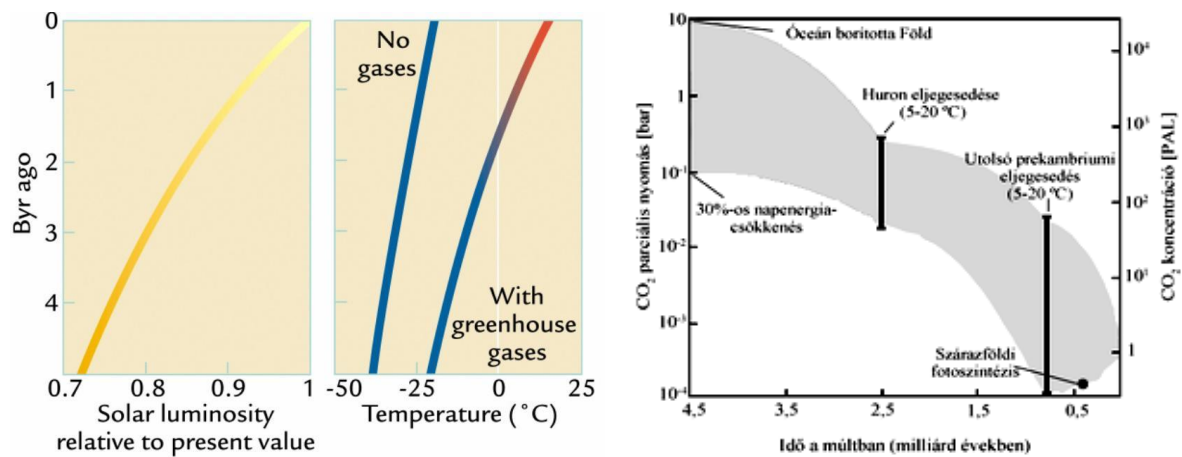
(forrás: www.giss.nasa.gov/research/briefs/rind_03/)

A számítás egyszerűen úgy végezhető el, hogy a beérkező és a felszín által kisugárzott (ez a Stefan–Boltzmann-féle törvény alapján írható fel) energiát egyenlővé tesszük, azaz feltételezzük, hogy a bolygó sugárzási egyensúlyban van. A számítás 255 K , azaz -18 °C -kal egyensúlyi hőmérsékletet eredményez, szemben a ténylegesen megfigyelt $+15 \text{ °C}$ -kal. A különbség a légkör jelenlétével, pontosabban a légköri üvegházhatással magyarázható. Tétélezzük fel ezek után, hogy a napállandó 25 %-kal kisebb, akkor az egyensúlyi hőmérséklet -55 °C -kal egyenlő. Ha tehát azt akarjuk, hogy az átlagos hőmérséklet négy milliárd évvel ezelőtt hasonló legyen a jelenlegi értékhez, akkor fel kell tétéleznünk, hogy az üvegházhatás az élet keletkezésekor jóval jelentősebb volt, mint napjainkban. Tobias Owen és munkatársai (1979) modellszámításai szerint ehhez mintegy ezerszer akkora szén-dioxid parciális nyomás kellett, mint a jelenlegi érték. Mindez közvetve arra utal, hogy az őslégkörben sokkal nagyobb volt a szén-dioxid koncentrációja, mint napjainkban. Más szavakkal: az élet keletkezéséhez szükséges hőmérsékletet a nagyobb üvegházhatás biztosította. (forrás: www.matud.iif.hu/08jun/02.html)

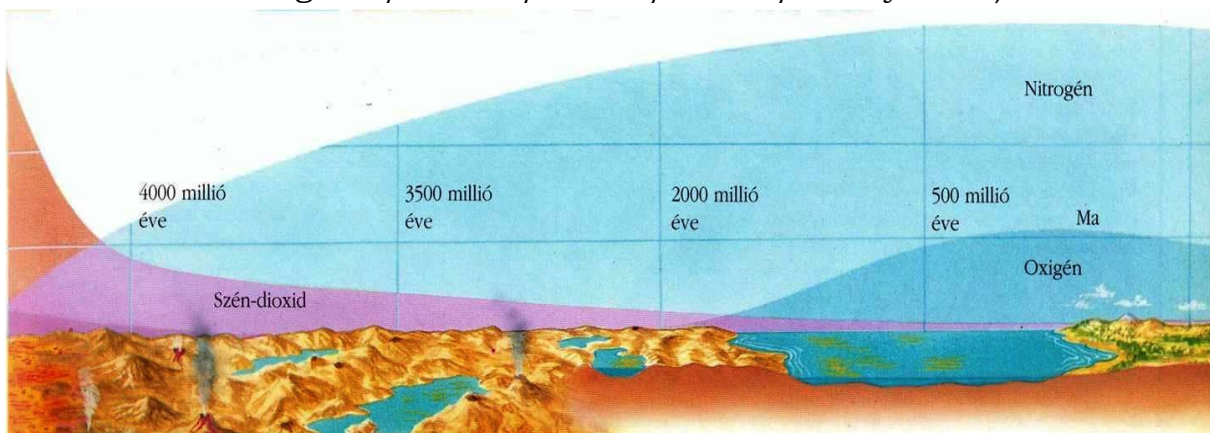
A Nap fényessége, a Luminozitás (fényerő) – a csillag által időegység alatt kibocsátott összes sugárzási energia jelentős tényező a Föld klímájának alakulásában.



(forrás: commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_luminosity_variation.png, és www.everythingselectric.com/faint-young-sun-paradox/)

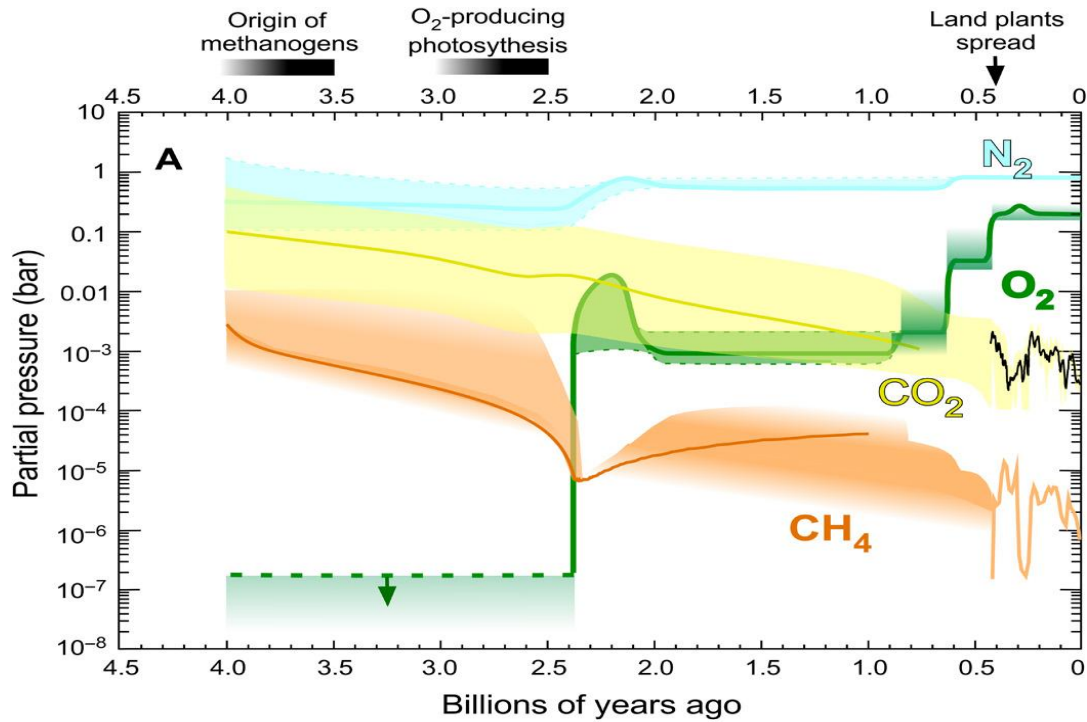


(forrás: www.atmosedu.com/Geol390/matter/CarbonCycleLongTerm.htm, és https://mersz.hu/mod/object.php?objazonosito=m381aflt_4_i2_idx és www.termeszettvilaga.hu/szamok/tv2011/tv1103/berenyi.html)



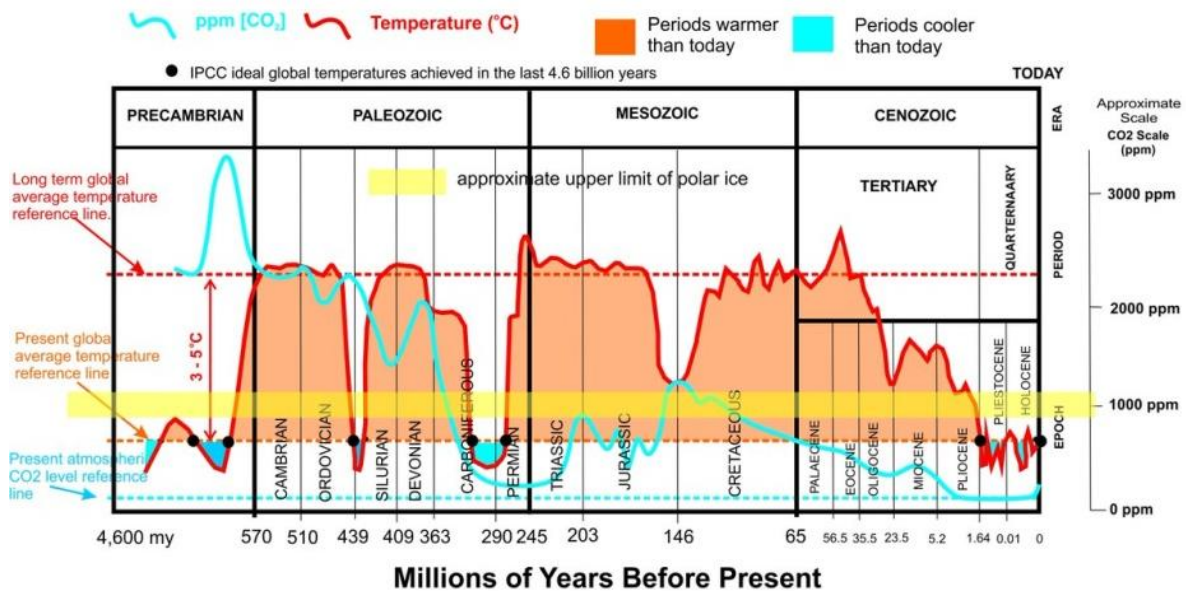
(forrás: irg.elte.hu/oktatas/Geokemia_Kornyezetudomany-BSc_2018-19/Va%20Atmosfera_.pdf, Atmoszféra és hidroszféra (elte.hu))

Földi légkör összetételének változása a Földtörténet ~4,5 milliárd éve során.



(forrás: The Archean atmosphere, View ORCID Profile David C. Catling, and View ORCID Profile Kevin J. Zahnle See all authors and affiliations, Science Advances 26 Feb 2020: Vol. 6, no. 9, eaax1420, DOI: 10.1126/sciadv.aax1420, advances.sciencemag.org/content/6/9/eaax1420)

Geological Timescale: Concentration of Atmospheric CO₂ & Mean Global Temperatures



1- Analysis of the Temperature Oscillations In Geological Eras by Dr. C.R. Scotese © 2002. 2 - Ruddiman, W.F. 2001. Earth's Climate past and future .W. H. Freeman & Sons, New York, NY. 3 Mark Pagani et al. Marked Decline in Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations During the Paleocene. Science: Vol 309, No. 5734; pp 600-603. 22 July 2005. Conclusion and Interpretation by Nasif Nahle © 2005, 2007. Corrected on 07 July 2008 (CO₂: Ordovician Period). CO₂ data from Berner and Canfield 1989, and Berner 1994.

Additional lines, highlights, colouring and text by Robert Fagan, 2018. Please be aware that the horizontal time scale varies markedly from left to right. The temperature troughs represented in blue as glacial episodes are up to 2 - 3 three times deeper than portrayed. Additional information available at www.dr-robert-fagan.com

Web link to data for this chart. http://www.biocab.org/carbon_dioxide_geological_timescale.html

(forrás: www.dr-robert-fagan.com/posted-articles/)

A megszilárdult Holdra a „Kései Nagy Bombázás” időszakában ugyanúgy záporoztak a befogott törmelékdarabok, mint a Földre, ezeknek a becsapódásoknak a nyomait azonban a Hold nagyrészt megőrizte a ma is látható kráterek formájában.

Ez utóbbiak száma és mérete alapján a „Kései Nagy Bombázás” alatt a Földre érkező anyag mennyiségét $1,5 \cdot 10^{19}$ tonnára becsülik, ami – figyelembe véve a módszerben rejlő sok bizonytalanságot – meglepően jól egyezik a földkéreg tömegével.

A „Kései Nagy Bombázás” során a Földre érkező kozmikus anyag összetételére is vannak támpontok, amely lényegében azonos lehetett egyrészt a Földre érkező mai meteoritok, másrészt az üstökösök összetételével. A meteoritoknak kb. a fele kondritos típusú (kömeteorit), amelyek általában 13–20% vizet és 2–3% szenet (részben széntartalmú szerves vegyületek formájában) tartalmaznak. Ezekből az adatokból megint felállíthatunk egy közelítő anyagmérleget.

Ha elfogadjuk azt az értéket, hogy a „Kései Nagy Bombázás” idején $1,5 \cdot 10^{19}$ t anyag érkezett a Földre és ennek fele kondritos meteoritok formájában, akkor ez $1-1,5 \cdot 10^{18}$ t vizet és $1,5-2,2 \cdot 10^{17}$ t szenet jelent. Ezek az adatok is meglepően egybevágnak azzal, hogy az óceánok tömege $1,4 \cdot 10^{18}$ t és a földkéreg széntartalma $0,9 \cdot 10^{17}$ t.

A „Kései Nagy Bombázás” során érkezett víz és szén tömege azonban még nagyobb is lehetett, ha számottevő volt a becsapódott üstökösök aránya. Ezek ugyanis a meteoritoknál lényegesen több vizet (akár 50%-ot is jég formájában) és szenet tartalmazhatnak (szerves vegyületek formájában).

A földfelszín akkor még igencsak forró volt és az illékony anyagok (víz, széndioxid, metán és egyéb szerves vegyületek) egy része bizonyára megszökhetett. Ebben az időszakban a Földön szerves vegyületek gyűlhetek össze nagy molekulatömegű főleg aromás polimer, aminosavak, továbbá kis molekulájú szénhidrogének, karbonsavak és nitrogénbázisok.



(grafika forrása:: David A. Hardy, [https:// 900igr.net/fotografii/astromija/Komety-3/003-Asteroidy.html](https://900igr.net/fotografii/astromija/Komety-3/003-Asteroidy.html))

Illusztráció, az üstökösök és meteorok Földfelszínbe csapódását mutatja a „Kései Nagy Bombázás” idején 4-3,9 milliárd évvel ezelőtt.

Az Itokawa aszteroida vize olyan, mint a Föld vize.

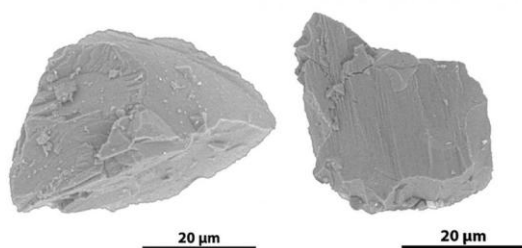
Az első japán Hajabusza űrszonda, az Itokawa kisbolygóról gyűjtött és a Földre hazahozott mintáinak többféle vizsgálata is megtörtént már. Az aszteroida felszínéről 1500 db aprócska regolit-szemcsét hozott haza a 2005-ös látogatása után 2010-ben visszaérkező szonda.



S:

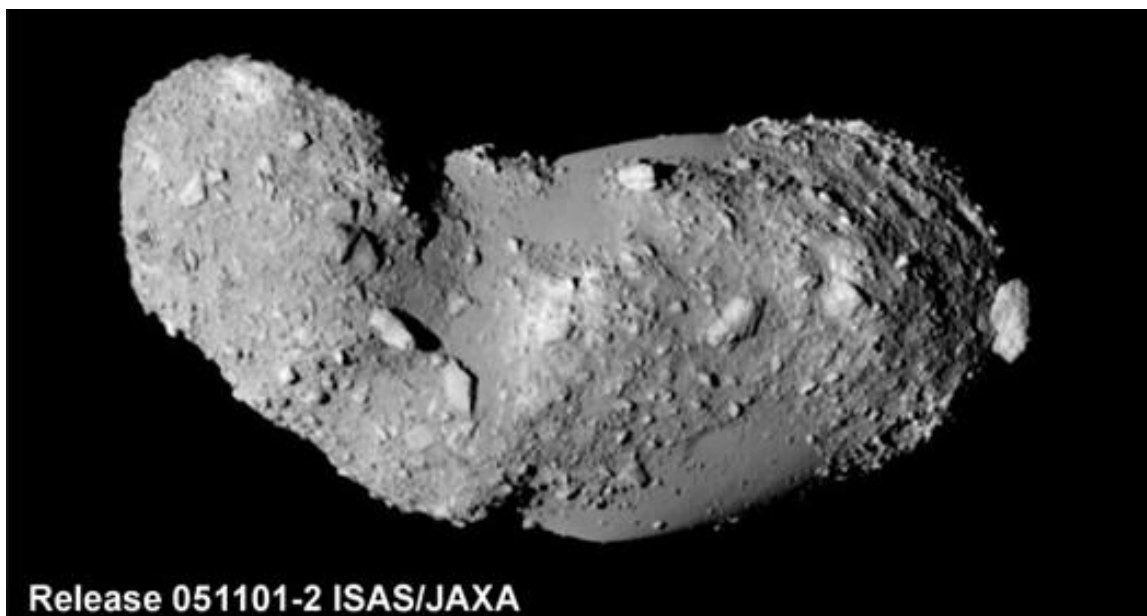
JAXA, wandering.space.net/category/minor-bodies/asteroids/ és www.lpi.usra.edu/features/hayabusa/

A Földre visszaérkezett kapszula a gyűjtött 1500 db aprócska regolit-szemcsét hozott haza. Autonóm irányítórendszere földi segítség nélkül hozott döntéseket. (Woomera Prohibited Area, Ausztrália)



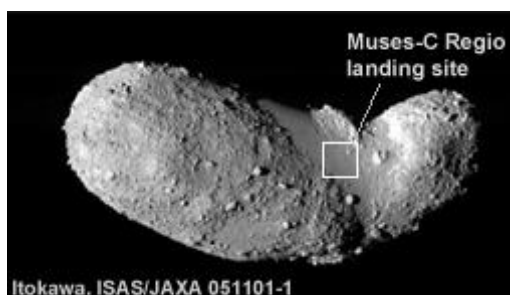
Most két piroxén-tartalmú szemcsében fellelhető hidrogénizotópot, és a víz mennyiségét vizsgálták meg az Arizonai Állami Egyetem munkatársai. Az egyetem 5 szemcsét kapott a JAXA-tól (Japán Űrhivatal) a célzott vizsgálatokhoz.

A szemcsék, amelyeket vizsgáltak, az aszteroida egy sima felszínű, porral borított régiójából származnak. Bár a szemcséket a felszínről gyűjtötte be az űrszonda, azok valószínűleg a kisbolygó 100 méternél mélyebb rétegeiből származhatnak. A kisbolygó jelenlegi, 8 millió éves felszínét e rövid idő során ért külső hatások (mint pl. a napszél vagy a kozmikus sugarak által, vagy az ütközésekkor kialakuló hó miatt átalakított összetétel) is beszámították a vizsgálatoknál.



(forrás: Hayabusa's Scientific and Engineering Achievements during Proximity Operations around Itokawa, 2005 Topics index, Institute of Space and Astronautical Science, ISAS és Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA, www.isas.jaxa.jp/e/snews/2005/1102.shtml)

A japán Hayabusa-űrszonda felvétele a 25143 Itokawa kisbolygóról, amely egyetlen korábban meglátogatott kisbolygóra sem hasonlított. Az Itokawa felszíne tele van különböző méretű sziklákkal (sok a szögletes alakú), emellett finom por által felöltött vidékek is mutatkoznak.



(www.psr.d.hawaii.edu/CosmoSparks/Feb11/ItokawaSamples.html)

A landolásra 2005. november 15-én került sor a sima területek egyikén. De még ezt megelőzően, ledobta a szonda a MINERVA nevű felszíni „ugráló egységét”, amely hatalmas szökellésekkel mozgott a kisbolygón, miközben „reptében”, és a felszínen végzett méréseket.

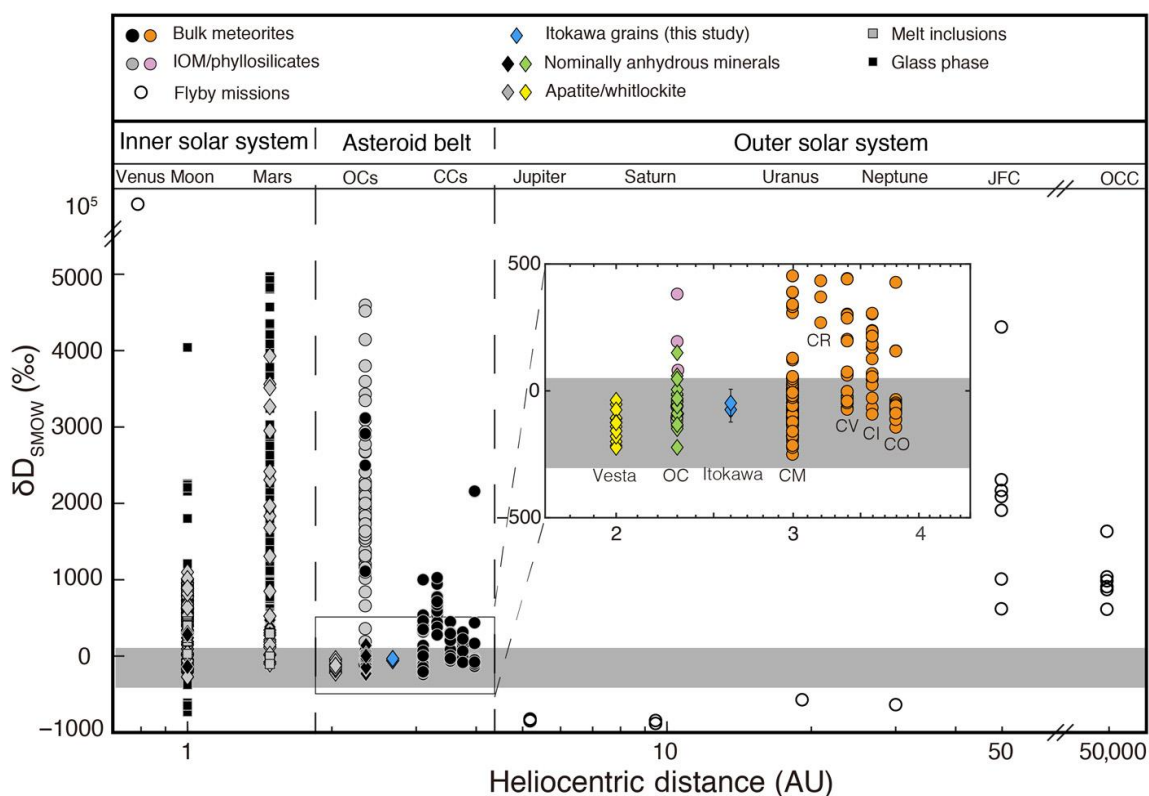
(illusztráció: neo.jpl.nasa.gov/missions/hayabusa.html)



Az 5 szemcséből 2 tartalmazott piroxént, s a földi piroxén-szemcsékről tudjuk, hogy a kristályszerkezetükben, kristályvízként tárolnak vizet, ezért ezeket mérték fel a kutatók. A mérésekhez nanoléptékű másodlagos ion-tömegspektrométer segítségét vették igénybe.

Az eredmény szerint a kisbolygóban és a Földön található hidrogén-deutérium arány azonos, ez pedig arról vall, hogy közös eredetű lehet a bolygónk és ezen aszteroida vize (hasonlóan más, a Naprendszer belső régióiban született égitesthez), az arány gyakorlatilag megkülönböztethetetlen a földi óceánokban hullámszótól.

A víz mennyisége viszont magasabb volt a hasonló égitestekéhez képest, közel 1000 ppm (milliomodrész) víz volt a szemcsékben! Összehasonlításképpen, a vízben gazdag Föld esetében a köpeny anyagában 380-2560ppm víz van, a kéreg anyagában pedig 15.000-20.000 ppm.

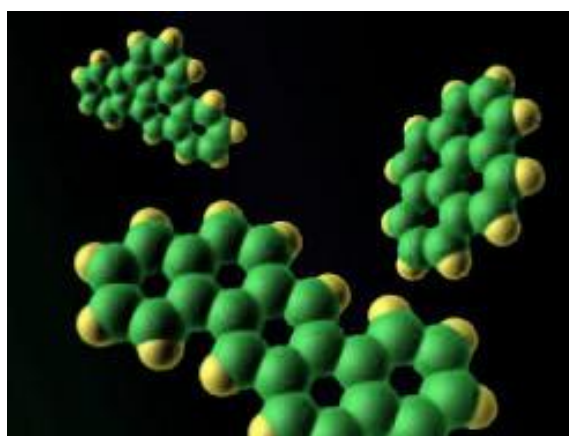


(forrás: Ziliang Jin* and View ORCID Profile Maitrayee Bose: New clues to ancient water on Itokawa, Science Advances 01 May 2019: Vol. 5, no. 5, eaav8106, DOI: 10.1126/sciadv.aav8106, <https://advances.sciencemag.org/content/5/5/eaav8106>)

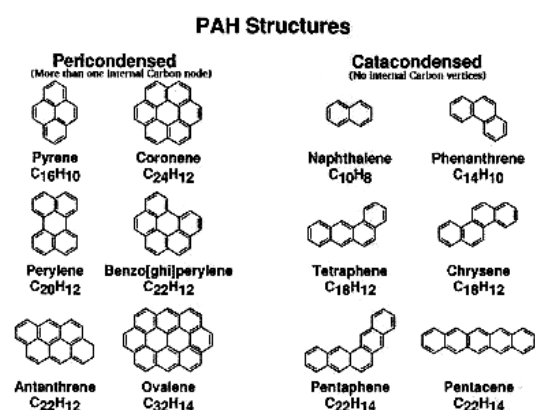
A kutatók úgy vélik, hogy az Itokawa kisbolygó, és a hozzá hasonló összetételűek mind hasonló arányban, vagyis relatíve nagy mennyiségben tartalmaznak vizet. Ez egyrészt jelentheti azt, hogy a földi vízkészletek ezen aszteroidákéhoz hasonlóan a bolygókezdemények összeállása idejéből eredhetnek.

Sok olyan szerves molekula található a csillagközi térben, amelyekkel megegyezők mai ismereteink szerint szerepet játszottak a földi élet születését megelőző, prebiotikus fejlődésben. A megfigyelések alapján nitrilek, aldehidek, savak, alkoholok, cukrok, éterek, ketonok és egyéb hosszú molekulaláncú szénhidrogének egyaránt megjelennek a csillagközi felhőkben.

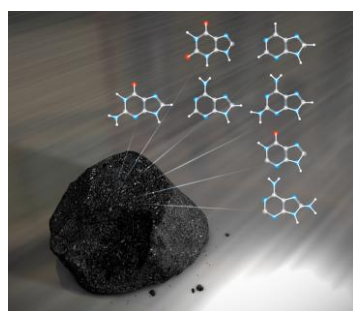
A csillagközi térben lévő szerves anyagok között fontos csoportot alkotnak az policiklusos aromás szénhidrogének, a PAH-ok (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons). Ezek feltehetőleg hűvös csillaglégkörökben keletkeznek, majd onnan csillagszelekkel jutnak ki az űrbe. A PAH-okból további kémiai reakciókkal sokféle szerves molekula képződhet.



(illusztráció: PAH molekulák, NASA)



PAH-ok viszonylag korán, már a Nagy Bumot követően 3-4 milliárd évvel azonosíthatók az intenzív csillagkeletkezést mutató galaxisokban.



A szenes kondritos meteoritok egy lehetséges forrása a korai Föld illékony elemeinek - beleértve a hidrogént, nitrogént és szén-dioxidot - és a szerves anyagoknak is. A policiklusos aromás szénhidrogének (angol rövidítéssel PAH-ok) gyakran előforduló molekulák az űrben, többek között megtalálhatóak a csillagok közötti anyagban, az üstökösökben vagy a meteoritokban.

(illusztráció: NASA Goddard Space Flight Center/Chris Smith, www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/dna-meteorites.html.)

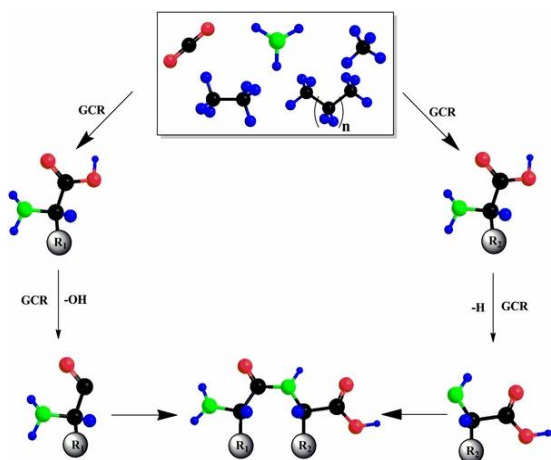
A PAH-ok prekuzorként szolgálhatnak az RNS szintéziséhez. A NASA állítása szerint a PAH-ok űrbéli körülmények között is képesek hidrogénezés, oxigenizáció vagy hidroxiláció révén átalakulni komplexebb szerves anyagokká, ami akár egy kezdeti lépés is lehet az aminosavak és nukleotidok szintéziséhez vezető úton. A NASA készített egy adatbázist, amelyben figyelemmel kíséri az űrben talált PAH-okat. Becslésük szerint ezek az anyagok tartalmazzák a Világegyetem szénkészletének több mint 20%-át.

A világűrben uralkodó állapotokat szimulálva amerikai kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy a kozmoszban található objektumok – például porfelhők – jeges felületén létrejöhetnek olyan komplex szerves molekulák, amelyek a Földre jutva az élet alapvető építőelemeiként szolgálhattak.

Az amerikai kutatók a kísérlethez egy olyan vákuumkamrát használtak, amelyben a hőmérséklet tíz Kelvin-fokkal volt az abszolút nulla fog fölött. (Az abszolút nulla fok az a hőmérséklet, amelynél a testből nem nyerhető ki hőenergia. A Kelvin-skálán ez 0 K, a Celsius-skálán -273,15 C.)

Egy „kozmoszbeli” jeges hólabdát szimuláltak, amely szén-dioxidot, nitrogénből és hidrogénből álló ammóniát, illetve szénhidrogéneket – metánt, etánt és propánt – tartalmazott. Amikor a kozmikus sugárzásnak megfelelő nagy energiájú elektronokkal bombázták a „jeges hólabdát”, reakcióként a kémiai anyagok komplex szerves vegyületekké – kiváltképpen dipeptidekké – kezdtek átalakulni.

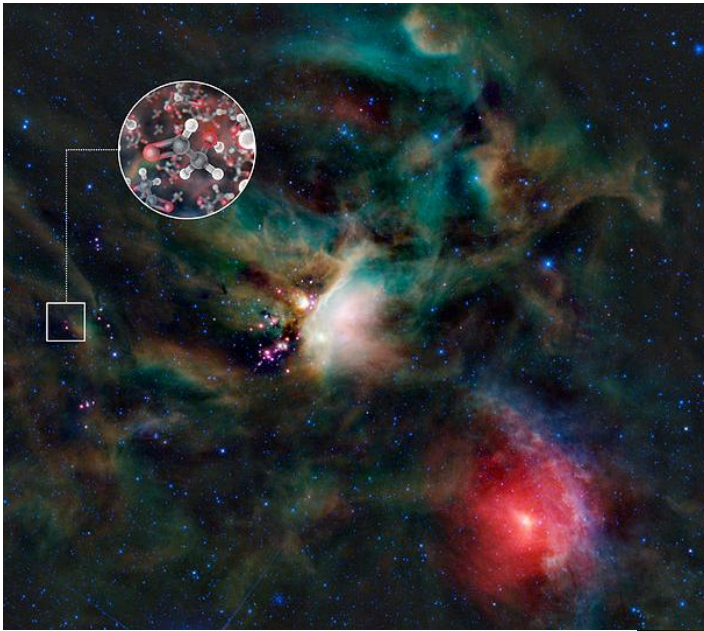
A berkeleyi egyetem tudósai a Mars Organic Analyzer elnevezésű szerves analizátorral - amelyet azért fejlesztettek ki, hogy felfedezhessék és azonosíthassák a legparányibb szerves molekulákat a Naprendszerben - elemezték a kísérlet eredményeként létrejött üledéket. Jó néhány olyan komplex molekula – köztük kilenc aminosav és legalább két dipeptid - jelenlétét tudták kimutatni, amely egyfajta katalizátorként képes (lehetett) a biológiai evolúció beindítására.



A Kaliforniai Egyetem (Berkeley) és a Hawaii Egyetem (Manoa) tudósainak kísérlete azt mutatta, a világűrben megvannak a feltételek ahhoz, hogy két aminosavból álló dipeptidek alakuljanak ki, amelyek a fehérjék nélkülözhetetlen építőkövei, és minden élő szervezetben megtalálhatók.

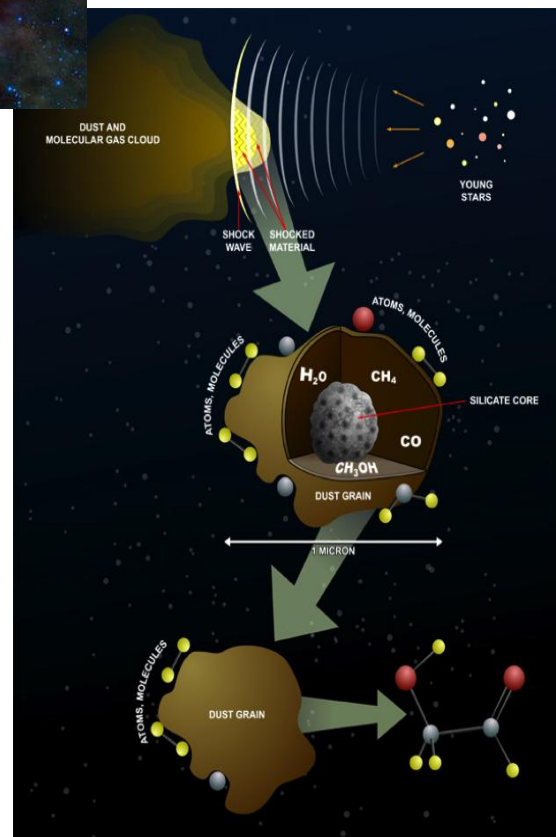
(forrás: R. I. Kaiser, A. M. Stockton, Y. S. Kim, E. C. Jensen, R. A. Mathies. On the formation of dipeptides in interstellar model ices. The Astrophysical Journal, 2013; 765 (2): 111 DOI: 10.1088/0004-637X/765/2/111, iopscience.iop.org/0004-637X/765/2/111/)

A kutatók véleménye szerint felfedezésük felveti azt a lehetőséget, hogy a szóban forgó szerves molekulák a világűrben érkeztek a Földre – akár üstökösök, akár meteorok felszínén –, ahol aztán elindították azt a folyamatot, amelynek eredményeként fehérjék és enzimek, vagy még összetettebb, az élethez szükséges vegyületek – például cukormolekulák – formálódtak ki.



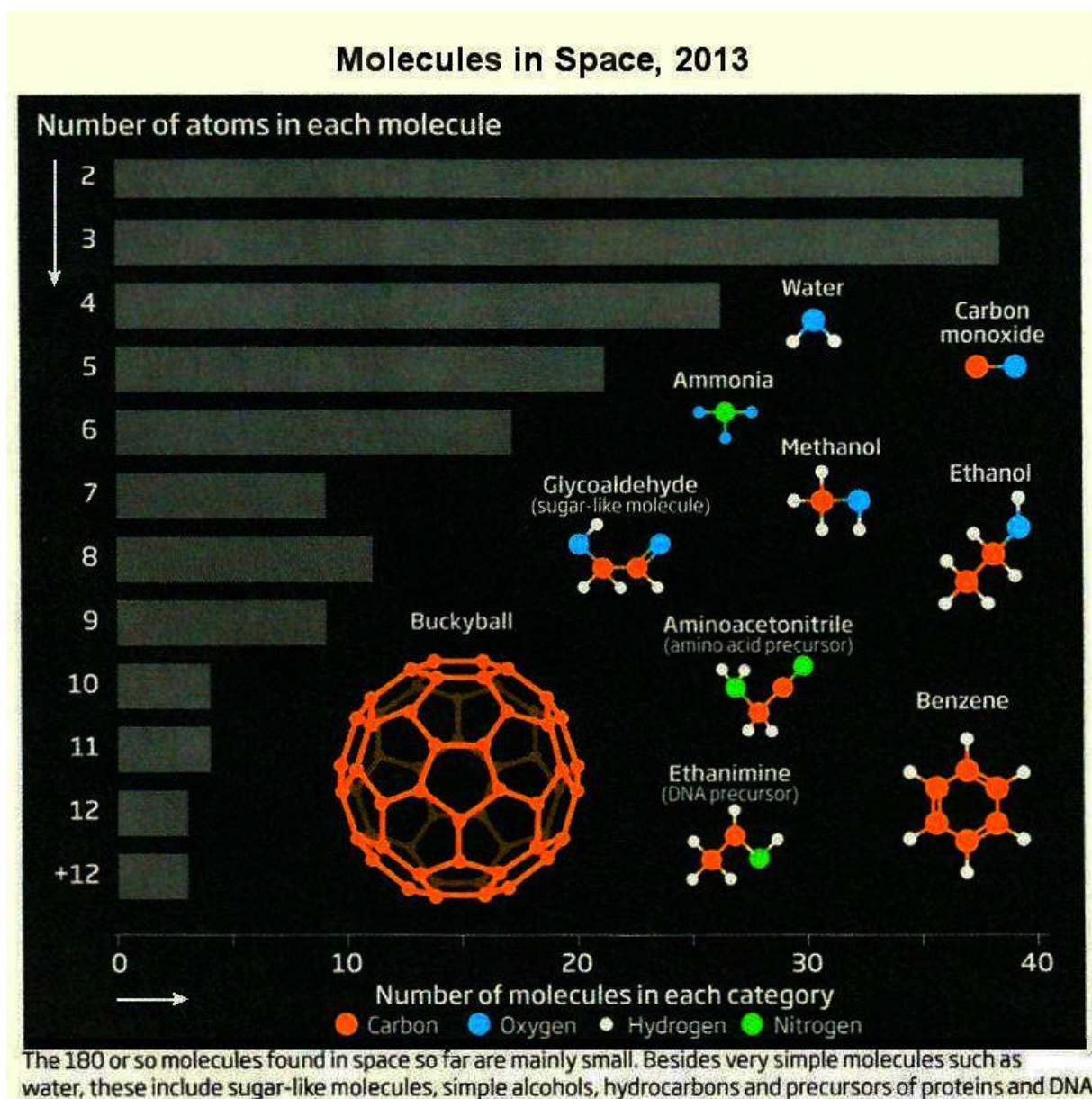
A kutatók a chilei Atacama sivatagban működő rádiótávcső-rendszerrel, az ALMA-val (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) végezték megfigyeléseiket. A csillag, az IRAS 16293-2422 katalógusjelű nap 400 fényévnnyire, a Kígyótartó (Ophiuchus) csillagképben található.

„A születő csillagot körülvevő por- és gázkorongban találtunk glikolaldehidet ($C_2H_4O_2$, $HOCH_2-CH=O$), ez a cukrok legegyszerűbb alakja, és nem sokban különbözik attól, amivel a kávékat édesítjük. Szénből, oxigénből és hidrogénből álló nyolcatomos molekula, amely más molekulákkal kölcsönhatásba lépve bonyolultabb cukrokat, glukózt és ribózt hoz létre. A ribóz a nukleinsavaknak, így a DNS-nek és az RNS-nek is fontos építőeleme” - hangsúlyozta Jes Jorgensen, a vezető szerző, a koppenhágai Niels Bohr Intézet kutatója.



(forrás: Carroll, P., Drouin, B., Widicus Weaver, S.: „The Submillimeter Spectrum of Glycolaldehyde”. *Astrophysical Journal Letters*, 2010.723: 845–849. Bibcode:2010ApJ...723..845C. doi:10.1088/0004-637X/723/1/845, és <http://en.wikipedia.org/wiki/Glycolaldehyde>)

Korábban már észlelték a glikolaldehid-molekulákat a csillagközi térben, ám ez az első, amikor egy Naphoz hasonló csillag környékén fedezték fel. A molekulák körülbelül akkora messzeségekben vannak a csillagtól, mint a Nap és az Uránusz közötti távolság.



(forrás: universe-review.ca/F11-monocell.htm, és universe-review.ca/I11-02-astrochems.jpg, és David Williams: Large molecules in space? astrogeo.oxfordjournals.org/content/44/6/6.14.abstract Oxford Journals, Mathematics & Physical Sciences, Astronomy & Geophysics, Volume 44 Issue 6, Pp. 6.14-6.21., <http://astrogeo.oxfordjournals.org/content/44/6/6.14.full.pdf+html>)

A csillagászok több mint 130 szerves molekulát észleltek 2005-ben az óriás molekuláris felhőkben, ahol a csillagok (és a bolygók) születnek. Ezek köre az egyszerű két atomos molekuláktól, például a nitrogén-oxid (NO), a nagy láncsal rendelkező 11 szénatomot tartalmazó cyano-pentacetylene (HC₁₁N) is előfordul. 2013-ig különböző eszközökkel kimutatott térben talált molekulák száma körülbelül 180 nőtt.

Ausztráliai Victoria államban, Murchison mellett 1969-ben lehullott, több nagyobb darabra szétrobbant kondritos meteorit volt az első, amelyet már viszonylag friss állapotában (tehát nem sokkal a Földre hullása után) tudtak korszerű analitikai módszerekkel megvizsgálni. Összesen száz kilőnyinál is több darabját szedték össze. Német tudósok újabb vizsgálódás során spektrográfiát és egyéb nagyfelbontású elemzőeszközöket használtak, így fedeztek fel a meteoriton 14 ezer különböző anyagot, közöttük 70 aminosavat is, és kutatók szerint akár hétmillió különféle kémiai anyagot is tartalmazhat.

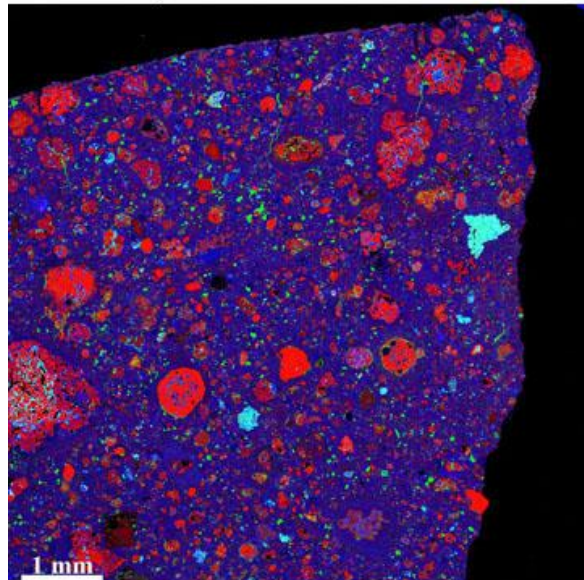
Ez volt az első eset, hogy szénalapú molekulát találtak a meteoritban. A tanulmányukat a Proceedings of the National Academy of Sciences című tudományos lapban (az amerikai tudományos akadémia újságjában) tették közzé.

Murchison, CM2 Carbonaceous Chondrite



© Natural History Museum, London.
(Image courtesy of Natural History Museum, London.)

Murchison, CM2 Carbonaceous Chondrite

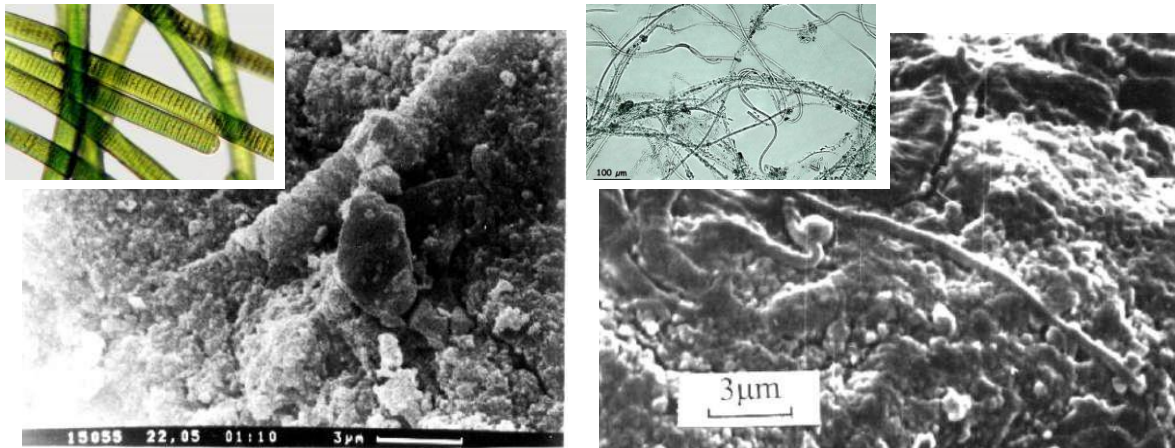


(Image courtesy of Alexander Krot, University of Hawaii.)

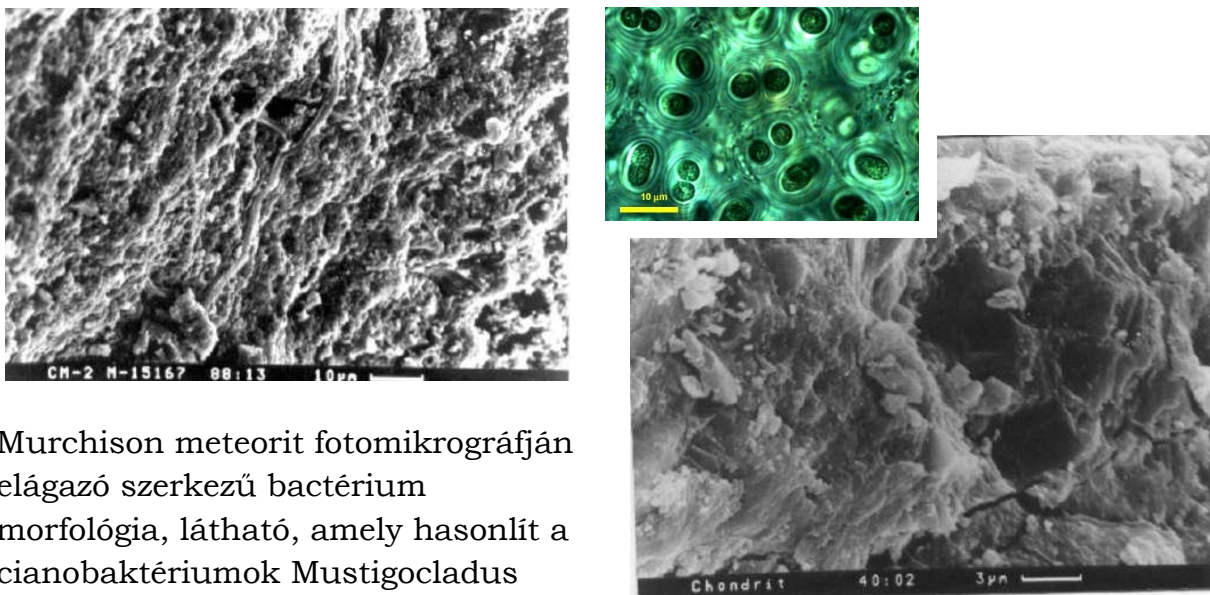
(forrás: Linda M. V. Martel, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, Better Know A Meteorite Collection: Natural History Museum in London, United Kingdom, PSRD: Meteorite Collection in London, United Kingdom, www.psr.d.hawaii.edu/July09/Meteorites.London.Museum.html, és www.psr.d.hawaii.edu/July09/PSRD-Meteorites.London.Museum.pdf)

A képek a Murchison meteorit mutatják, az elsőn a Natural History Museum-ban (London) őrzött egy darabja, a másodikon pedig egy vékonycsiszolatról készült „kombinált X-ray” (Röntgen) felvétel látható, amelyet Alexander Krot, a University of Hawaii meteorit kutatója készített. A fotomikrográfon a magnézium (piros), kalcium (zöld) és alumínium (kék).

A tudósok azt feltételezik, hogy a Murchison meteorit még a Nap keletkezése előttről származik, körülbelül 4,65 milliárd éves lehet.



A fotomikrográfokon a Murchison meteoritban a Földi cianobakterium „filamentumok”-ra (rostok) hasonlító formák találhatók. Az egyszeres trichoma hasonló az *Oscillatoria* és a *Lyngbya* genus tagjaihoz. A második fotomikrográfon szintén baktérium morfológiájú trichoma látható, amely a *Phormidium* sp. cianobakteriumra hasonlít. A színes képek a modern (élő) cianobakteriumokat mutatják.

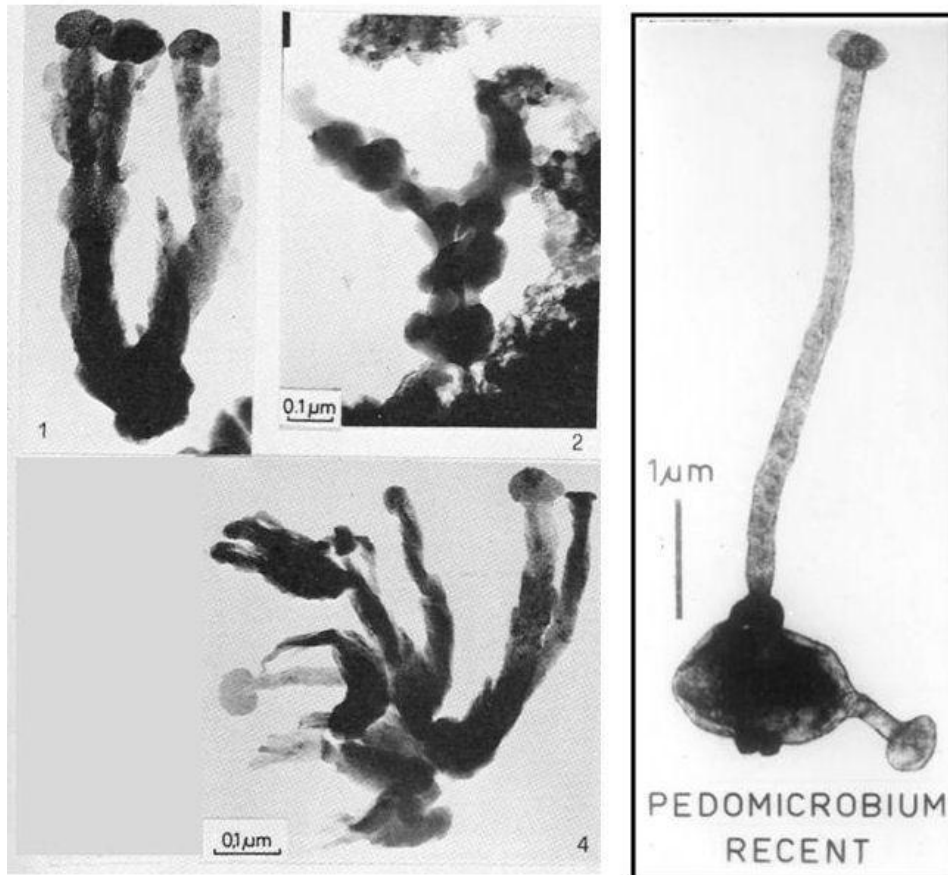


Murchison meteorit fotomikrográfián elágazó szerkeztű baktérium morfológia, látható, amely hasonlít a cianobaktériumok *Mustigocladus* genusára, amelyeket, elágazó és a különböző átmérőjű sejtek jellemeznek.

A második fotomikrográfon színén egy Murchison meteorit baktérium morfológia található, amelyek tokos szerkezet, olyan mint a modern (élő) *Gloeocapsa* cianobaktérium kolóniáknak (színes kép).
(forrás: Stanislav Zhmur: Fossilized Bacteria in Murchison and Efremovka What'sNEW since 2000, I am sending you some microphotos from Murchison and Efremovka meteorites, 2000. január 27., <http://www.panspermia.org/zhmur1.htm>)

A kérdéses alakzatok mérete néhány mikrométer körüli. A vizsgált alakzatok közel ugyanakkorák, mint sok földi baktérium.

Ezek a formák zömében több mikrométeresek, így elképzelhető egy olyan szervezetet, ami tartalmazza azokat a létfontosságú részeket, amit egy földi ősbaktérium is tartalmazhatott. Tehát ebben a mérettartományban már elképzelhető egy földihez hasonló primitív élővilág megléte.



(forrás: Richard B. Hoover, Ph.D.: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites, Journal of Cosmology, 2011. március, Vol 13, journalofcosmology.com/Life101.html, NASA/Marshall Space Flight Center, és <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1008/1008.3860.pdf>)

A baloldali képen a Murchison meteoritban talált pedomicrobium morfológia (forma, alak) látható és mellette egy modern pedomicrobium.

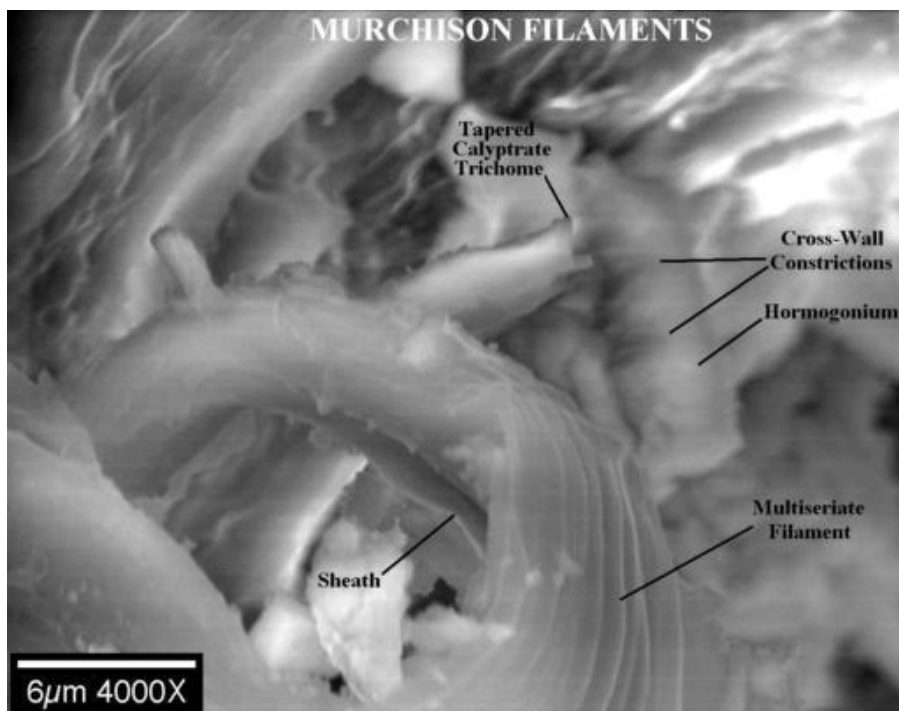
Richard B. Hoover szerint a megfigyelt formák létezésére a legegyszerűbb magyarázat az, hogy Földön kívüli élet tevékenysége nyomán visszamaradt képződmények. Ennek megfelelően apró égitestekben alakultak ki a mi bolygónktól függetlenül, sőt, akár idősebbek is lehetnek a Földnél.

Az elgondolás nem áll távol a Chandra Wickramashinge és Fred Hoyle által közölt régebbi elgondolástól, amely szerint az élet meteoritok révén terjedhet akár csillagok között is, és bolygónknál lényegesen idősebb - noha erre komoly bizonyítékot még senki nem mutatott fel.



A Murchison meteoritban talált baktérium forma látható, amelyhez hasonló struktúrákat találtak korábban tengeri üledékekben és a légkörben.

(forrás: Chandra Wickramasinghe, Max K. Wallis, Carl H. Gibson, Jamie Wallis, Shirwan Al-Mufti, Nori Miyake: Bacterial morphologies in carbonaceous meteorites and comet dust, [from Pflug 1984], <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1008/1008.3860.pdf>)



(forrás: Fossilized Life Forms in the Murchison Meteorite, What's NEW since, 1997.július 29., és More Evidence for Indigenous Microfossils in Carbonaceous Meteorites What'sNEW since Aug 2010. www.panspermia.org/hover4.htm#whatsnew)

Richard B. Hoover a Murchison formákat mikroorganizmusok megőrzött és elszenesedett maradványainak (microfossziliák) cianobakteriális szálaknak értelmezi.

A meteoritok elemzéséről részletes összefoglalót az első kötetben lehet olvasni. „Az élet kialakulásának kutatása a Naprendszerben I. rész, (<https://mek.oszk.hu/13200/13212/>) , mely szintén ingyenesen letölthető ismeretterjesztő gyűjtemény a témában fellelhető kutatási eredményekről. A legfrissebb hírek pedig a könyv oktatási célú Facebook oldalán érhetők el, (<https://www.facebook.com/etkialakulasanakkutatasa>).

Meteoritokban felfedezett, baktériumokra hasonlító alakzatokról számol be Richard Hoover, a NASA szakmai körökben is elismert asztrobiológusa, aki elsősorban Földön kívüli anyagok, valamint extrém körülményeket kedvelő földi életformák, illetve ezek maradványainak mikroskálájú műszeres elemzésével foglalkozik. Expedíciókat vezetett az Antarktiszra és egyéb szélsőséges élőhelyekre, az ott jellemző, rendkívüli tűrőképességű életformákat (extremofileket) kutatva.

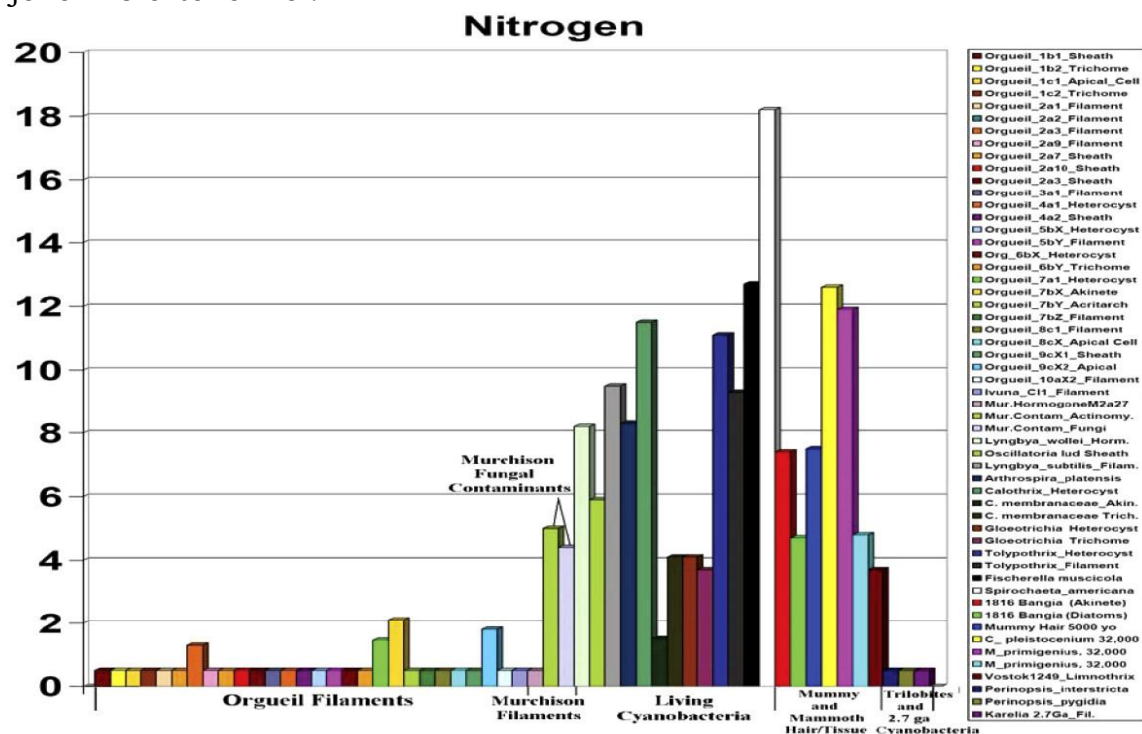
Eszerint a Murchison, Alais, Ivuna és Orgeil nevű, meteoritok belső repedéseiben érdekes, többnyire elnyúlt alakzatokat talált pásztázó elektronmikroszkópos és egyéb műszeres vizsgálatokkal.

A vizsgálatok alapján Hoover arra a következtetésre jutott, hogy nem utólagos földi szennyeződések - tehát akár Földön kívüli életnyomok is lehetnek.

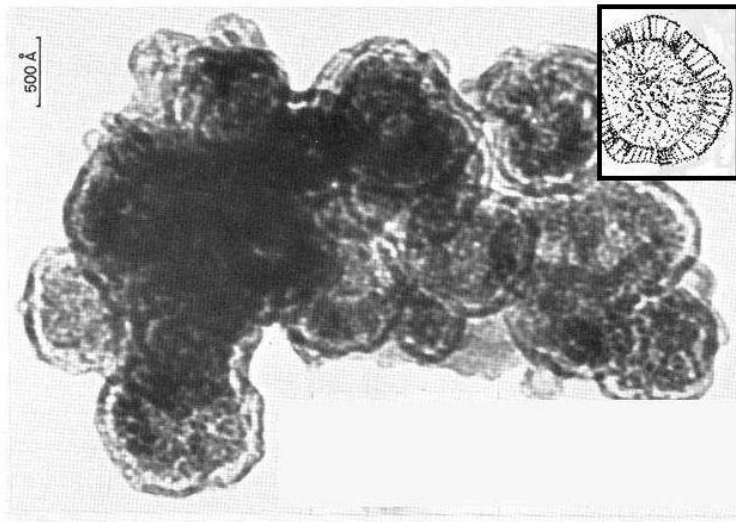
A megfigyelt képződmények alakja, mérete, elrendeződése Hoover szerint a földi cianobaktériumok (kékmoszatok) és egyéb egyszerű, sejtmag nélküli szervezetek után visszamaradt életnyomokra emlékeztet.

A Hoover által elemzett meteoritok apró, részben mára elpusztult ősi égitestek, a bolygóknál kisebb méretű objektumok, például kisbolygók és üstökösmagok belsejéből származhatnak.

A formák széntartalmú anyagból állnak, ugyanakkor kémiai és ásványi összetételük nem feleltethető meg egyetlen ismert földi baktériumfosszília jellemzőinek sem. Főleg nitrogéntartalmuk sokkal kisebb a földi fossziliákra jellemző értékeknél.



(forrás: Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa and Enceladus, pdf., Space Science Office, NASA/Marshall Space Flight Center, Huntsville)



(forrás: Richard B. Hoover, Ph.D.: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites, Journal of Cosmology, 2011. március, Vol 13, journalofcosmology.com/Life101.html, NASA/Marshall Space Flight Center, és <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1008/1008.3860.pdf>)

A képen Murchison meteorit struktúra, mely hasonlít a felő sarokban keretezett influenza vírusra. (Hans D. Pflug, 1984.)

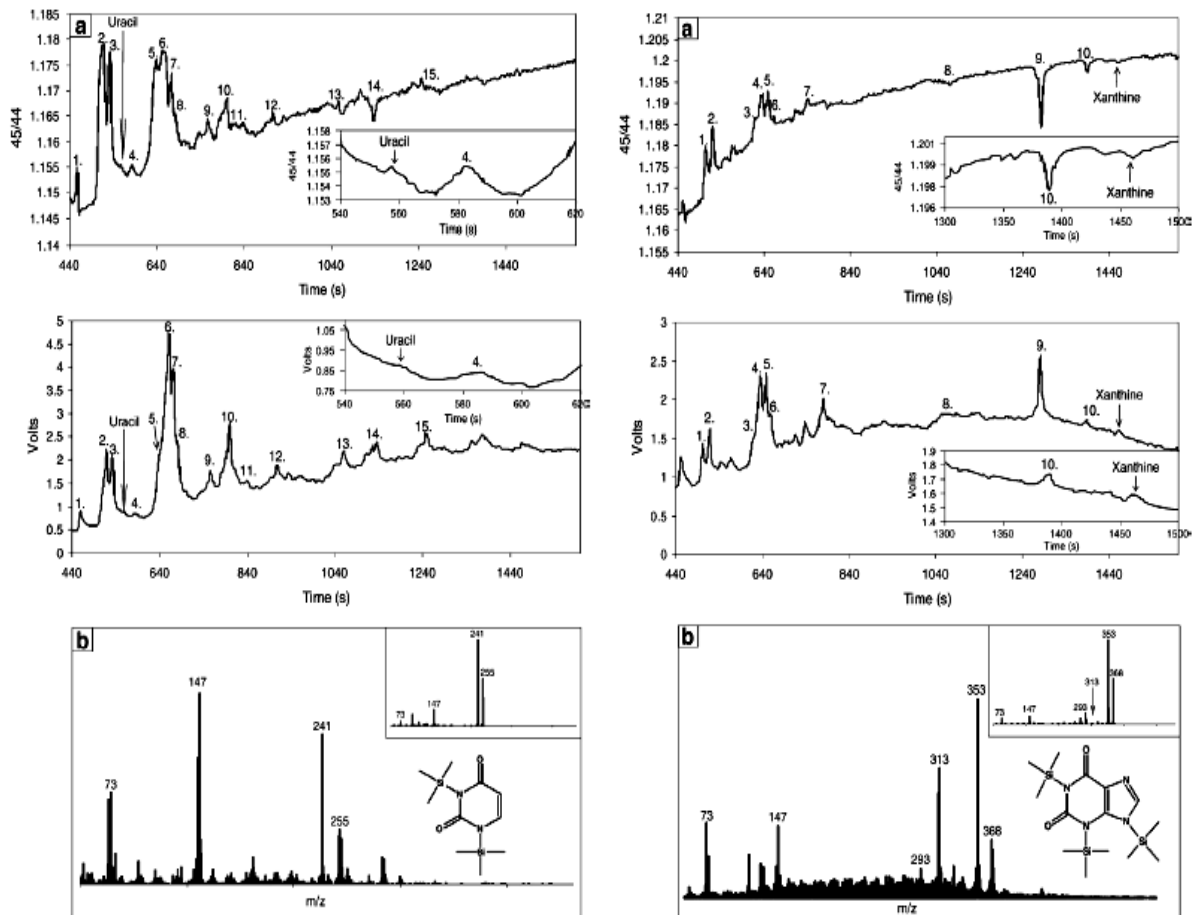
Mai ismereteink alapján az ilyen apró égitestekben is van sok olyan szerves anyag, ami például a földi élet keletkezését megelőző prebiotikus folyamatokban közreműködött, mivel a kérdéses meteoritok sok ilyen hozhattak becsapódásaikkal a Földre. Emellett néhány jel arra is utal, hogy egyes apró égitestek belsejében a Naprendszer kialakulása idején folyékony víz is előfordult átmenetileg.

A Murchison meteorit – színeképe alapján – feltételezhető, hogy a Ceres kisbolygó a szülő égitest.



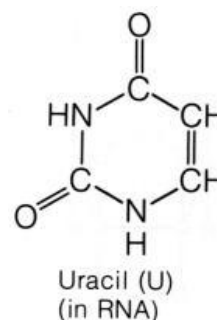
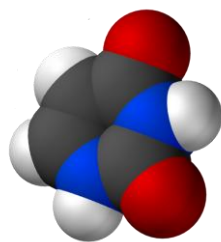
(forrás: National Museum of Natural History, Washington, és www4.nau.edu/meteorite/)

Brit és amerikai tudósok *Earth and Planetary Science Letters* szakfolyóiratban megjelent tanulmányban azt állítják, hogy a DNS-t és RNS-t felépítő molekulák előfutárai, az uracil és xantin nukleobázisok megtalálhatók a Murchinson meteoritban.



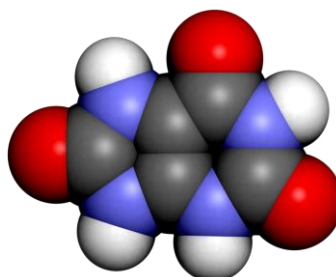
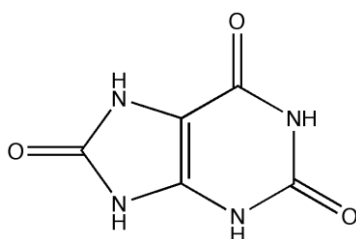
(forrás: Zita Martinsa, Oliver Bottac, Marilyn L. Fogele, Mark A. Sephtonb, Daniel P. Glavinc, Jonathan S. Watsonf, Jason P. Dworkinc, Alan W. Schwartzg, Pascale Ehrenfreund: Extraterrestrial nucleobases in the Murchison meteorite, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 270, Issues 1–2, 2008. június 15., pp.130–136, DOI: 10.1016/j.epsl.2008.03.026, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X08001866 és www.researchgate.net/publication/222818820_Extraterrestrial_nucleobases_in_the_Murchison_meteorite)

A kutató által megfigyelt anyagokban a szénizotópok aránya jellegzetesen eltért a földitől, ami arra utal, hogy a nukleotidbázisok nem földi szennyeződések, hanem eredetileg is a meteoritban lehettek. A megfigyelés arra utal, hogy a nukleobázisokat képező molekulák is elterjedtek lehetnek a világűrben.



(forrás: www3.imperial.ac.uk/earthscienceandengineering/aboutese/hottopic/pasttopics/alien%20origins és www.daviddarling.info/encyclopedia/U/uracil.html)
Uracil (C₄H₄N₂O₂ IUPAC name: Pyrimidine-2,4(1H,3H)-dione)

Az uracil a négy nukleobázis egyike, mely az RNS-ben található, és a timint helyettesíti az adeninnal szemben, azzal képez bázispárt két hidrogén kötés segítségével. Azonban az uracilból a timinnél jelenlévő metilcsoport hiányzik. Az uracil a timinnel szemben hamarabb alakul át citozinná. Az uracil csak nagyon ritkán jelenik meg DNS-ben.

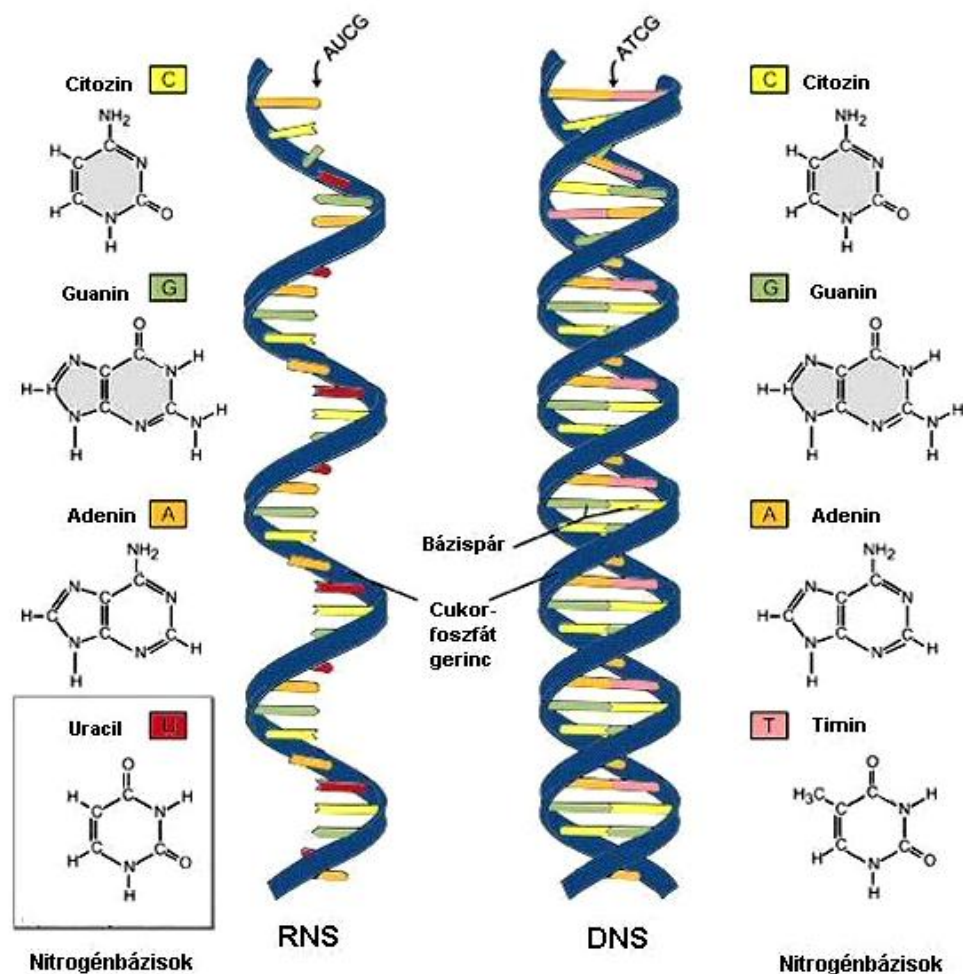


(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/H%C3%BAgysav)

Xantin, húgysav heterociklusos vegyület. (C₅H₄N₄O₃ IUPAC name: 7,9-dihidro-1H-purin-2,6,8(3H)-trion). Az adeninből és a guaninból (illetve az ezekből felépülő nukleozidokból és nukleotidokból (adenozin, guanozin, adenilsav, guanilsav) először enzimek (például adenilát dezamináz, guanilát dezamináz) hatására lehasad az aminocsoport, az adeninből hipoxantin, a guaninból xantin keletkezik.

A tanulmány vezetője, Zita Martins (Department of Earth Science and Engineering és Imperial College London), összegzése szerint 4 milliárd évvel ezelőtt, amikor az első primitív élet kezdett kifejlődni, igen nagy számban záporoztak a Murchinson meteorithoz hasonló űrközetek a Földre. „Meggyőződésünk, hogy a korai élet felhasználta a meteorit töredékekben a bolygóra érkezett nukleinbázisokat a genetikai kódoláshoz, ami képessé tette őket sikeres jegyeik átörökítésére a következő generációikra” - magyarázta Martins.

A tanulmány társszerzője, Mark Sephton professzor (Department of Earth Science and Engineering és Imperial College London) szerint a kutatás rendkívül fontos lépcsőfok a korai élet fejlődési menetének megismerésében. „Mivel a meteoritok a Naprendszer kialakulásában szerepet játszó anyagok maradványait tömörítik, az élet kulcsfontosságú összetevői, köztük a nukleinbázisok, igen elterjedtek lehetnek a kozmoszban. Ahogy az élet egyre több nyersanyagát fedezzük fel az űrben, úgy nő az élet valószínűségének az esélye azokon a helyeken, ahol jelen van a fennmaradáshoz megfelelő kémiai közeg” - tette hozzá Sephton professzor.



(forrás: planetfacts.org/ribonucleic-acid-rna/)

Több jel is arra utal, hogy az élet alapvető építőelemei, a nukleinbázisok nagy valószínűséggel földön kívüli eredetűek.

A panspermia az egyik legtöbb vitát kiváltó elmélet az asztrobiológusok körében. A teória szerint az élet magjai univerzum szerte jelen vannak, és a földi élet is ilyen magokból fejlődött ki, ami meteoriton érkezett bolygókra. Ez felfedezés most megtámogatta a teóriát.

Hasonló összetételű meteoritok bombázhatták az ősi Marsot is - elméletileg tehát ott is lehetőség nyílt a földihez hasonló összetételű „ősleves” kialakulására.

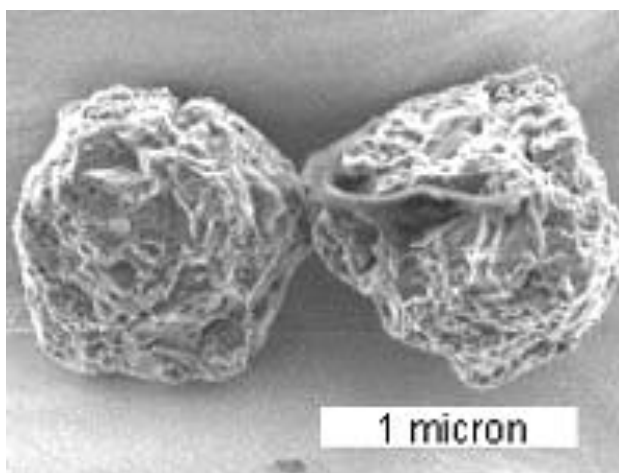
Az olasz Tuscia Viterbo Egyetemen, Raffaele Saladino és kollégái arra voltak kíváncsiak, hogy a gyakorlatban is elő lehetne-e állítani a meteorit segítségével egy kezdetleges „őslevest”.



(forrás: Michael Marshall: New Scientist magazine, 2011. május 07., Issue number 2811., és Origins of Life and Evolution of Biospheres, DOI: 10.1007/s11084-011-9239-0)

Szemcsepár a Murchison-meteoritból

(forrás: Argonne National Laboratory, Department of Energy, en.wikipedia.org/wiki/File:Murchison-meteorite-stardust.jpg)

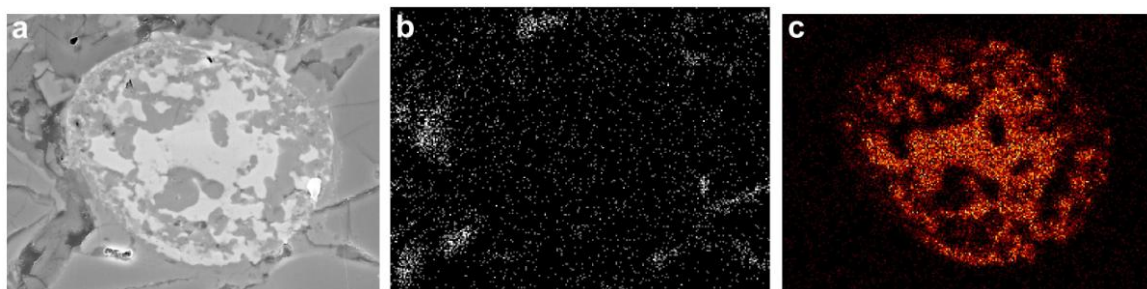


A kutatók 1 gramm Murchison-meteoritot használtak fel kísérletükhöz, amelyről az

összes szerves szennyezőanyagot eltávolították, így csak a megmaradt ásványi összetevőket használták fel.

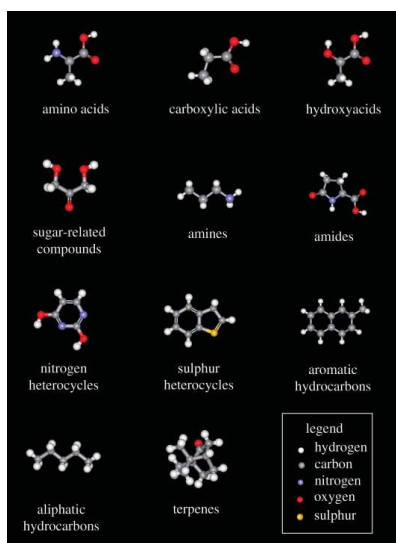
A meteoritban található anyagokat 48 órán át 140 Celsius fokra hevített formamiddal - egy különleges szénvegyülettel - vegyítették.

A kísérlet során beigazlódott az elmélet: nukleinsav - azaz DNS és RNS építőanyaga, valamint aminosav, glicin, karbonsav és kezdetleges cukor keletkezett. Az előállított anyagok elengedhetetlenek a primitív élet kialakulásához állítja Monica Grady az egyesült királyságbeli Milton Keynes Szabadegyetem kutatója. A meteorit ásványai stabilizálhatják az RNS-t. Az RNS a vízzel reakcióba lépve például könnyen lebomlana, a kutatócsapat szerint ezért indíthatták be és gyorsíthatták fel a Murchison-meteorit-hoz hasonló Földre zuhant szikladarabok az élet keletkezésének folyamatát.



(forrás: Prasanta K. Mukhopadhyay, David J. Mossman, James M. Ehrman: A universal, unconventional petroleum system exists throughout our solar system, 2009. július 24., <http://spie.org/x36351.xml>)

A) SEM elektron mikroszkópos képen a széntartalmú Murchison meteoritban szerves maradványok, részben mineralizált (szerves anyag szervetlenné alakult). A földi biogeokémiai ciklus jellemzője, hogy a szerves és a szervetlen elemformák körforgásában váltják egymást. Az Energy Dispersive Spectrometry (EDS) képeken B) a szén- és C) a kénmaradványok, biogén elemek. A kén fontos alkotóeleme egyes aminosavaknak (cisztein, metionin), továbbá a fehérjékben diszulfid kötéseket hozhat létre, amely révén stabilizálja a protein szerkezetét. Egyes egyszerű élőlények (baktériumok) a kéntartalmú vegyületek oxidációjából és redukciójából nyerik az energiát.



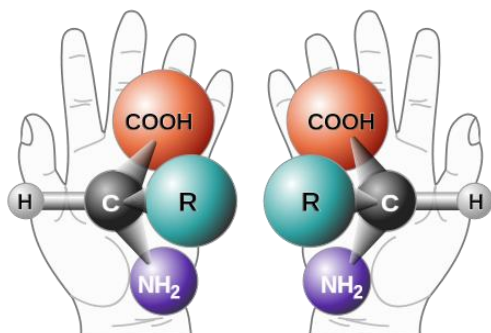
Murchison széntartalmú kondritos meteoritban kimutatható néhány „compound” (vegyület) osztály: aminosav (L-alanin), karbonsavak (propionsav), hidroxisavak (tejsav), a cukor-rokon vegyületek (dihidroxi-aceton), aminok (propil-amin), amidok (piroglutaminsav), nitrogén-heterociklusok (uracil), kén-heterociklusok (benzotiofén), aromás szénhidrogének (2-metil-naftalin), alifás szénhidrogének (pentán), terpének (kámfor).

(forrás: Mark A. Sephton: Organic matter in carbonaceous meteorites, Phil. Trans. R. Soc. A (2005) 363, 2729–2742, doi:10.1098/rsta.2005.1670, <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/363/1837/2729.full.pdf>)

A kutatók szerint a korai naprendszer ősfelhőin keresztülszáguldva gyűjtötte be a szerves molekulákat. Dr. Schmitt-Kopplin úgy véli, hogy a felfedezés válaszokkal szolgálhat a földi élet kialakulásával kapcsolatban.

A csapat rengeteg más meteoritot is vizsgál jelenleg, de a Murchison a legösszetettebb, amivel eddig találkoztak.

Az igazán váratlan eredményt azonban azok a vizsgálatok szolgáltatták, amelyeket ezen aminosavak enantiomer-összetételére vonatkozóan végeztek.



Az enantiomer (görög „enantiosz” ellentétes, és „merosz” rész) molekulák tükörképi párjai egymásnak, csakúgy mint a jobb és a bal kéz. Az optikai izoméria a térizoméria egy típusa, neve onnan ered, hogy a molekulák, amelyek esetében az izoméria fellép, optikai aktivitást mutatnak. Az optikai aktivitást mutató molekulákat királis (görög „cheir” kéz) molekuláknak.

(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Chirality_with_hands.svg)

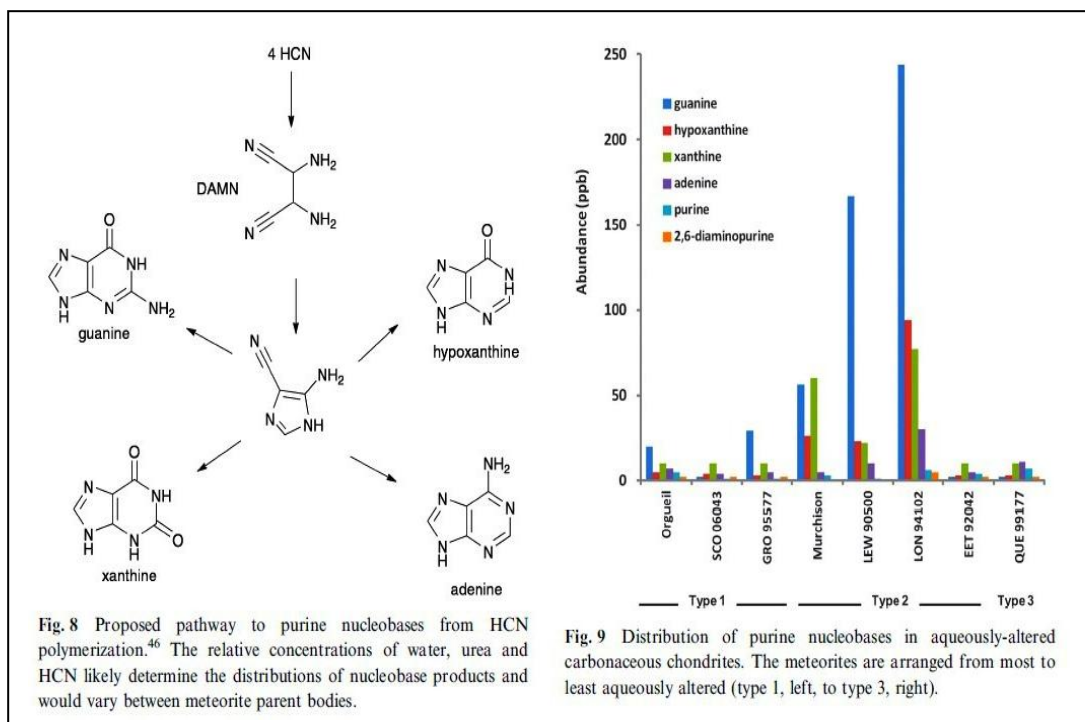
Jelölés: D és L (latin „laevus” bal és „dexter” jobb), vagy S és R (latin „sinister” és „rectus”), (+) és (-). A konfigurációt korábban a D és az L betűkkel jelölték, ma főként a cukroknál és az aminosavaknál használatos. Az optikailag aktív módosulat forgatási irányát (+)-szal jelöljük, ha az az óramutató járásával megegyezik és (-)-szal, ha azzal ellentétes. A javasolt új enantiomer jelölés S és R független a glicerináldehidtől és egyaránt alkalmas a kiralitáscentrumot tartalmazó és nem tartalmazó vegyületek konfigurációjának jelölésére.

Nagy tehát a valószínűsége annak, hogy a „Kései Nagy Bombázás” alatt a Földre érkezett aminosavak nem voltak minden esetben racém elegyek, hanem némi L-enantiomer-felesleggel rendelkeztek. Ezek szerint elképzelhető, hogy a paritássértő gyenge semleges áram (amely az atomokban lévő elektronok valamint az elektronok és neutronok között lép fel) mellett még egy másik, még hozzá kozmikus eredetű külső hatás is az L-aminosav alapú élet kialakulásának kedvezett.

A „Kései Nagy Bombázás” vége felé lehetett egy olyan időszak, amikor egyrészt az Ősföld viszonyai már lehetővé tették a bonyolultabb szerves molekulák kialakulását (már volt folyékony víz), de ugyanakkor még elég sűrűn érkeztek a világrűrből a becsapódó aszteroidákkal további aminosavak. Ezek az aminosavak valószínűleg nem voltak tökéletesen racém elegyek, hanem több volt bennük az L-enantiomer, így ezekből a földi L-aminosav-készlet állandóan újabb utánpótlást kaphatott.

Ez azt eredményezhette, hogy egy-egy becsapódás után a gyors racemizálódás ellenére is újra meg újra a paritássértés által biztosítottnál is nagyobb feleslegben volt jelen az L-enantiomer és a homokiralitáshoz vezető kiválasztódás egy ilyen „pillanatban” tudott hatékonyan elindulni.

Ez a magyarázat nem irreális, mert összhangban van azzal, hogy az élet nyomai már közvetlenül a „Kései Nagy Bombázás” utáni időszakban is kimutathatók – írja Markó László a „Miért „balkezesek” a fehérjéket felépítő aminosavak?” (Természet Világa, 130. évf. 2. sz. 1999.) című cikkében.



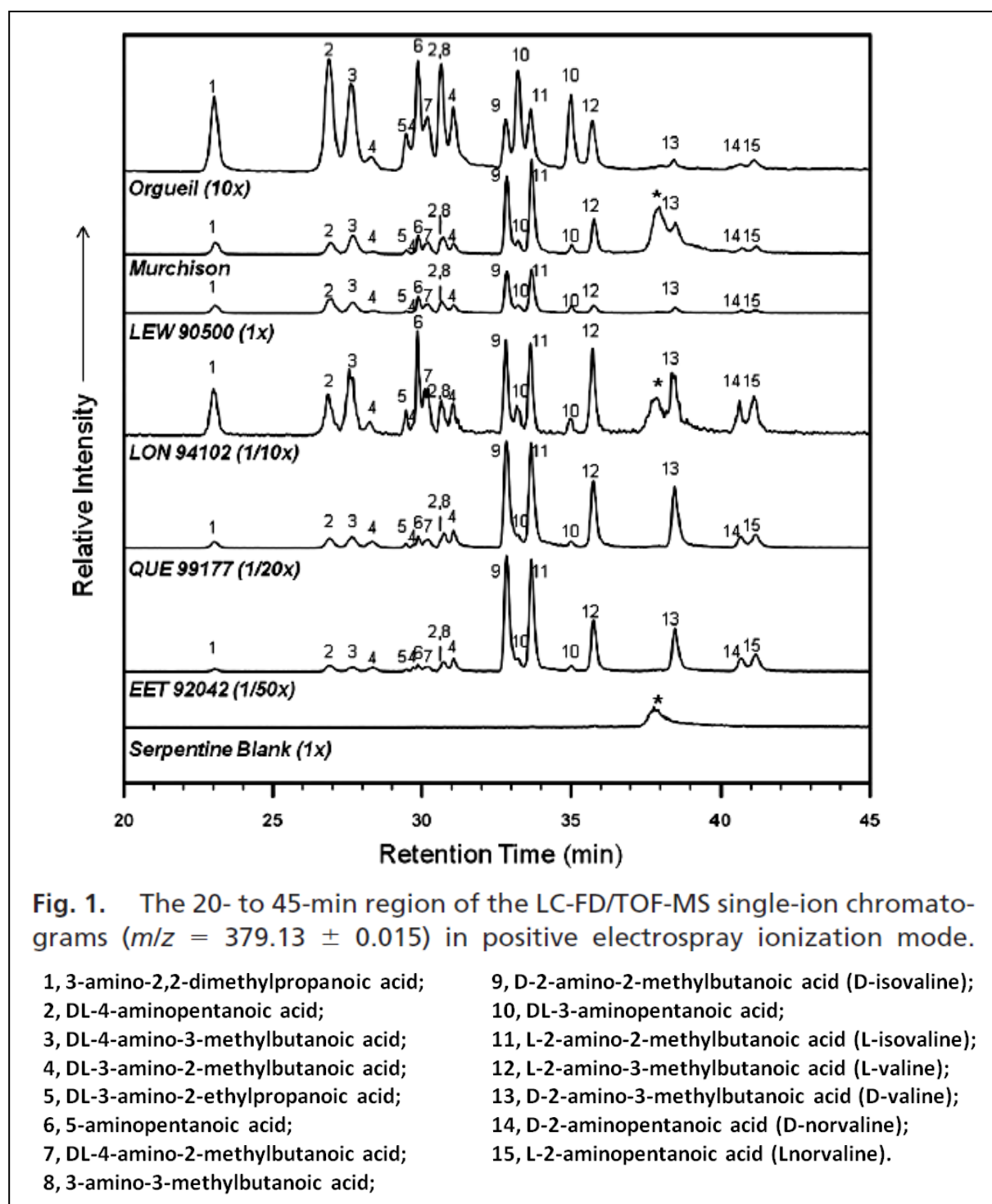
(forrás: Aaron S. Burton, Jennifer C. Stern, Jamie E. Elsila, Daniel P. Glavinb, Jason P. Dworkinb: Understanding prebiotic chemistry through the analysis of extraterrestrial amino acids and nucleobases in meteorites, *Chem. Soc. Rev.*, 2012,41, 5459-5472, DOI: 10.1039/C2CS35109A, <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/cs/c2cs35109a>, és <http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/BurtonReview2012.pdf>)

Bár a jobbkezes aminosavakon alapuló élet is feltehetően jól működne, nem lehetséges a keverésük, magyarázta Jason Dworkin, a NASA Goddard Space Flight Center kutatója, a *Proceeding of National Academy of Sciences (PNAS)* 2009. március 16-i számában megjelent tanulmány társszerzője. Mivel az élet nem működik jobb- és balkezes aminosavak keverékeként, felmerül a kérdés, hogy mi alapján választott az élet, miért részesíti előnyben a balkezes aminosavakat?

A Goddard munkatársai elemezték több szenes kondrit mintáit, melyek viszonylag nagy mennyiségű vizet is tartalmaztak, egy ritka aminosav, az izovalin után kutattak.

Minden aminosav képes balkezesről jobbkezesre váltani, illetve ugyanennek a fordítottja is igaz. A váltást sugárzás vagy hőmérséklet által felerősített kémiai reakciók idézik elő. Az izovalin rendelkezik azzal a különleges képességgel, hogy évmilliárdokon át megtartsa eredeti elrendezését. Talán pontosan ezért használja rendkívül ritkán a földi élet, tehát jelenléte a meteoritokban igen kis valószínűséggel lehet földi szennyeződés eredménye.

A vizsgálatok kimutatták, hogy három szenes meteoritban Orgueil CI, Murchison CM, LEW 90500 CM, is nagyobb a balkezes izovalin változatok száma a jobbkezeseknél.



(forrás: Glavin, D.P., Dworkin, J.P.: Enrichment of the amino acid L-isovaline by aqueous alteration on CI and CM meteorite parent bodies, *Proceeding of National Academy of Sciences (PNAS)*, USA 106, 5487-5492. <http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/GlavinDworkin2009.pdf>)

„Azzal, hogy több meteorit típusban is nagyobb számban találtunk balkezes izovalint, alátámaszthatjuk azt az elméletet, miszerint az aszteroidák és üstökösök által a korai Földre hozott aminosavak járultak hozzá a kizárólag balkezes élet elterjedéséhez bolygónkon” – állapították meg a kutatók. Daniel Glavin, a kutatás vezetője szerint „Az általunk tanulmányozott meteoritok még a Föld kialakulása előtti időkből származnak. Meggyőződésünk, hogy ugyanaz a folyamat, ami a balkezes izovalin többletet létrehozta, a meteoritokban található többi aminosavnál is érvényesülhetett, azonban a balkezes változatok túlsúlya az eltelt idő alatt elenyészett.”

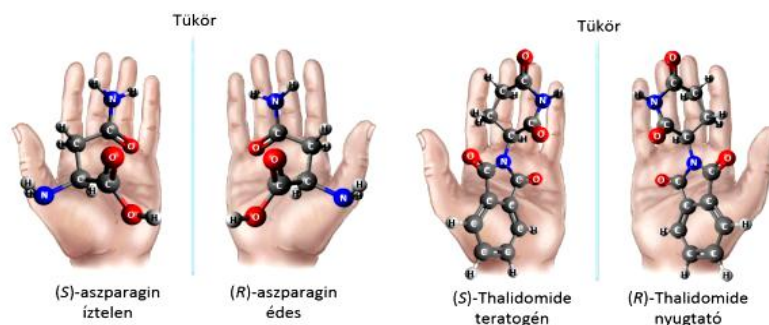
A felfedezés igazolja és kiszélesíti John Cronin és Sandra Pizzarello egy évtizeddel ezelőtti kutatását, ami elsőként jelezte a balkezes aminosavak túlsúlyát a Murchinson (CM2 típusú) szenes kondrit meteoritban.

A csapat egy sémát is talált a többletre. A különböző meteorit-típusok különböző mennyiségű vízzel rendelkeznek, ami a bennük található agyagokból és vízhordozó ásványokból állapítható meg. A kutatók észlelése szerint a nagyobb vízmennyiséget tartalmazó meteoritokban nagyobb a balkezes izovalin aránya, vagyis elképzelhető, hogy a víz erősíti fel a balkezes aminosav molekulák jelenlétét. „Ez arra utal, hogy a balkezes aminosav többlet létrejöttének valamilyen köze lehet a víz munkájához” - magyarázta Dworkin.

A biomolekulák – köztük a fehérjék, szénhidrátok és nukleinsavak homokirális (tükörszimmetrikus formából csak az egyik található meg) egységekből épülnek fel. A fehérjéket felépítő aminosavak balkezesek (L-módosulatok), a szénhidrátok és a nukleinsavak cukor-építőkövei pedig jobbkezesek (D-módosulatok).

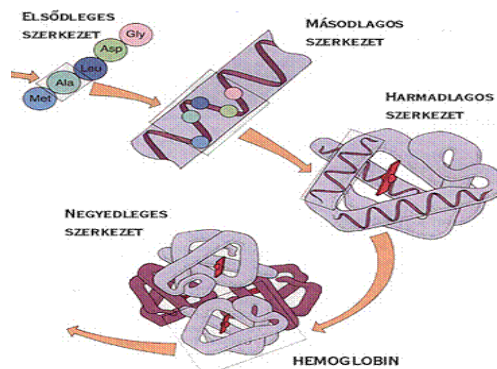
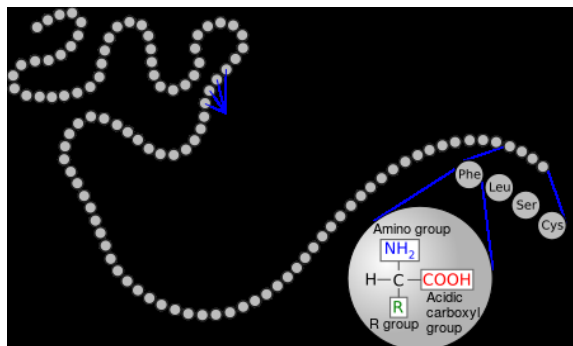
Ez a térszerkezeti homogenitás a földi élet alapja: az életet hordozó magas szervezetségű molekulakomplexek, a sejtek és a szövetek a jobb és balkezes építőkövek keverékéből nem jöhettek volna létre.

De a térszerkezeti homogenitás azt is jelenti, hogy az élő szervezetek máshogy reagálnak a környezet jobb és balkezes molekuláira. Ezt hívjuk diasztereomer megkülönböztetésnek (dd). A diasztereomer megkülönböztetés első bizonyított példája az aszparagin: a nem-természetes (D)-(+)-aszparagin édes ízű, míg a természetes (L)-(-)-aszparagin íztelen.



(forrás: http://doktori.bme.hu/bme_palyazat/2013/honlap/Bagi_Peter.htm)
Az aszparagin és a Thalidomide enantiomerjeinek eltérő hatása.

Testünk felépítésében mintegy 100 000 különböző fehérje vesz részt. A fehérjék szén-, hidrogén-, oxigén-, nitrogén-, valamint gyakran kénatomokból állnak. Rendkívül bonyolult óriásmolekulák; még a legegyszerűbbek is atomok ezreit tartalmazzák, míg a nagyobbak, több százezer vagy több millió atomból állnak.



(commons.wikimedia.org/wiki/File:Protein_primary_structure.svg, és guruz.hu/~dezo/Transzport/Beadando/Feherjek.htm)

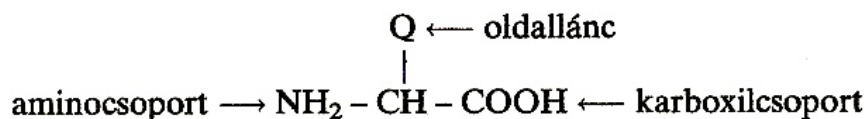
A fehérjék viszonylag önálló egységekből, aminosavakból (α -aminokarbonsavak) épülnek fel, amelyek mint füzért alkotó gyöngyszemek kapcsolódnak sorban egymáshoz. Szinte végtelen sokféleségük ellenére a fehérjéket mindössze 20 (+2) féle aminosav építi fel, közülük 19 homokirális, (aszimmetriás szénatomot tartalmaz). Kivétel a glicin ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$) ecetsav, legegyszerűbb fehérjealkotó, amely akirális, optikailag nem aktív. A fehérjékben a 20 leggyakrabban előforduló aminosavon kívül azok módosított származékai is előfordulnak, így a cisztin, a ciszteinből levezethető diszulfán; a transz-izomer 4-hidroxi-prolin (szerves sztereokémiai elnevezésből, biokémiai megnevezése: eritro- izomer 4-hidroxi-prolin), amely a kollagén 12%-át alkotja; továbbá foszforilált szerin, treonin, hisztidin; valamint O- és N-glikozidok.

Az élő szervezetekben olyan aminosavak is vannak, amelyek nem fehérje alkotóelemek. Ilyenek pl. a peptidoglikánok D-aminosavjai (D-alanin, D-izoglutamin), a gramicidin-S antibiotikumban előforduló L-ornitin (a 2,5-diaminoglutársav (S)-enantiomerje), a pantoténsavban előforduló β -alanin. Ebbe a csoportba tartozik a kreatin (N-metil-N-guanidinoecetsav) is. (forrás: www.och.bme.hu/ifj-nagy/Biomol/b-4-fehj.pdf)

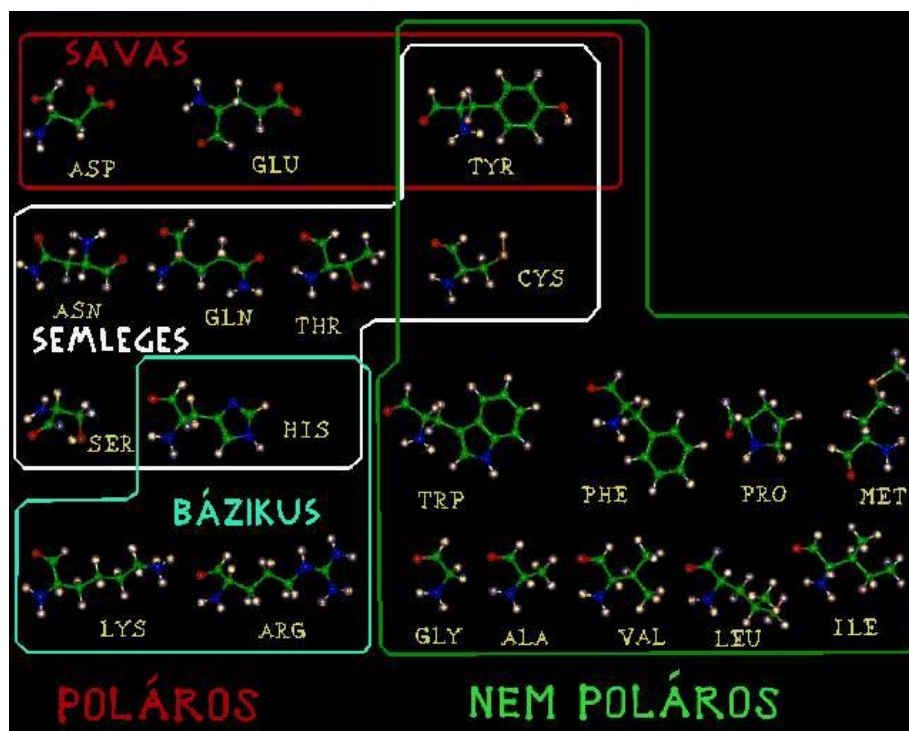
Ha mesterségesen állítunk elő egy aminosavat, a két forma egyenlő arányú (racém) keveréke képződik. Ezzel szemben az élő szervezet aminosavjai mindig (homokiralitás) bal formák. Ennek következtében a belőlük felépülő fehérjemolekulák is mindig aszimmetrikusak, és csakis balra forgató építőköveket tartalmaznak.

(Kivételesen „jobb” oldali konfigurációjú aminosavak is előfordulhatnak egyes szervezetekben, pl. néhány mikroorganizmus sejtfalanyagában vagy anyagcsere-termékeiben, így a Gramicidin vagy az Actinomycin-D antibiotikum molekulájában.)

Az egyes aminosavak közötti különbségeket az oldalláncok (jelölés: Q vagy R) szerkezete határozza meg, így ez az alapja csoportosításuknak is.



Az R oldallánc húszféle lehet:

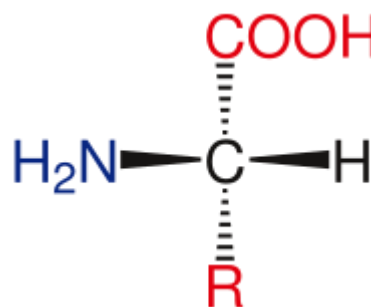


(forrás: A fehérjék szerkezete és az azt meghatározó kölcsönhatások, www.enzim.hu/~szia/folding/ea01/ea01.htm)

Az élő szervezetekben 25féle α -aminosav található, ezek közül 22 fehérjealkotó (proteinogenic) építőelem α -L-aminosav, ebből 20 az amelyik genetikailag kódolt, a 21. és 22. aminosav szintézis közben épül be a Selenocisztein (Sec) és a Pirrolizin (Pyl). Ezek kapcsolódási sorrendje az aminosav szekvencia, a fehérjék elsődleges szerkezete.

Az aminocsoportnak a karboxilcsoporttal viszonyított helyzete alapján α -, β -, γ - stb. aminosavakról beszélünk. A fehérjék (protein, görög „proteios” legelső) kizárólag α -aminosavakból épülnek fel. A többi biológiailag általában jelentéktelen. Az egyetlen élettani jelentőséggel bíró β -aminosav a β -alanin, ennek származékai a pantoténsav és a koenzim-A. Lényeges még az agy anyagcseréjének egyik eleme, a γ -aminovajsav (GABA), valamint a vitamin hatású p-amino-benzoésav.

Az α -aminosavak kiemelkedő jelentőségűek az élővilág számára, mivel a fehérjemolekulák (proteinek) építőkövei. Az α -aminosavak közös szerkezeti jellemvonása, hogy molekuláikban egy aminocsoport és egy karboxilcsoport kapcsolódik ugyanahhoz a szénatomhoz.



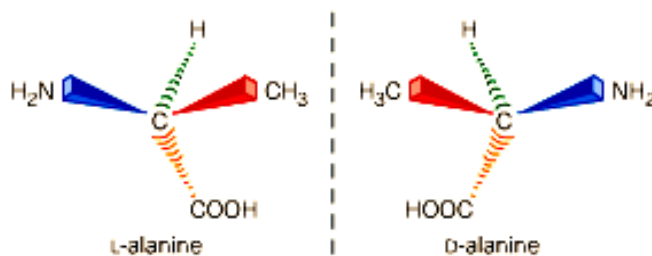
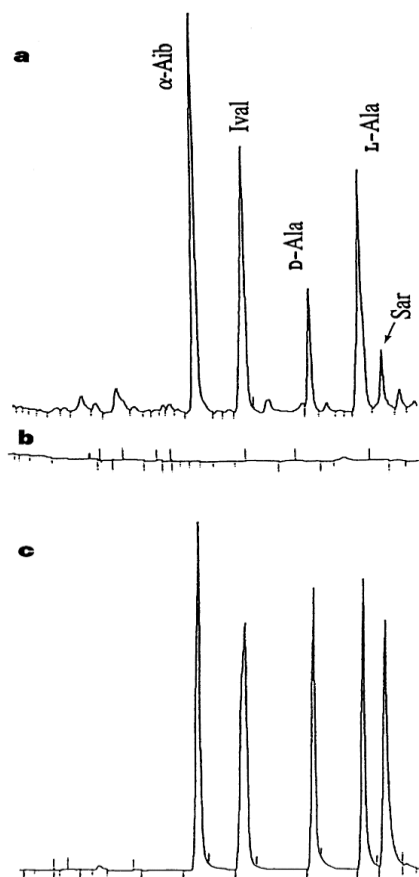
L konfigurációjú α -aminosav

(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:L-amino_acid_general.svg)

A szervezet fehérjéinek és egyéb nitrogéntartalmú alkotórészeinek felépítéséhez, és ezek újraképzéséhez szükséges aminosavakat a táplálék fehérjei adják. A fehérjeszükséglet tehát aminosav szükségletet jelent. Az emberi szervezetben 14-16% a fehérje-, és hozzávetőlegesen 0,1% a szabad aminosavtartalom.

A természetben előforduló vegyületek között ezrével akadnak olyan anyagok, amelyek molekulái tükörképi párokat alkotnak. A természetben az ilyen fajta anyagokban a „balos” és a „jobbos” molekulák igen gyakran egymással keveredve vannak jelen. A kémikusok ezt a jelenséget sztereoiszomériának nevezik, a „jobb” és „bal” molekulák pedig egymás sztereoiszomerjei. A „bal” és „jobb” megjelölés nem a polarizációs sík elfordításának tényleges irányára, hanem az aszimmetrikus szénatom abszolút térbeli konfigurációjára vonatkozik; ebben a tekintetben, a szervezetben a fehérjealkotó aminosavak mind „bal” oldali molekulák.

Az elmondottak ellenére az élőlényeket ugyanilyen joggal „jobbra forgatóknak” is nevezhetnénk, mivel az aminosavak molekulaszervezetéből fakadó „balra forgató” aszimmetria mellett létezik még egy másikféle aszimmetria is - és ez a fehérjék funkciója szempontjából talán még fontosabb. Ez pedig a maga egészében figyelembe vett fehérjemolekula térbeli helyzete. Az aminosavak összekapcsolódásával keletkező hosszú polipeptidláncok kialakulásakor az egyes aminosavak oly módon „csavarodnak” mindig jobb felé, hogy a fehérjemolekula az elülső vége felől nézve olyan spirális alakját mutatja, amely az óramutató járásával megegyező irányban van felcsavarodva. Ezt a tényt a kaliforniai Technológiai Intézetben dolgozó Linus Pauling és Robert Corey fedezte fel, és ők adták a jobbra csavarodó aszimmetrikus fehérjespirálisnak az alfa-hélix (α -hélix) (hélix = csigavonal) nevet. Ezután egyre világosabb lett, hogy az alfa-hélix jellemző a fehérjemolekulák legnagyobb részére, és hogy ebben a vonatkozásban saját szervezetünk is „jobbra forgató”. (Nyikolaj Sejkov: Élet és szimmetria).



(forrás: NATURE, Vol. 389, 1997. 08. 18.)

a) A Murchison meteorit gáz kromatogramja, a felbontás mutatja, a D-alanin és az L-alanin mennyiségének jelentős eltérését.

Rövidítések: α -Aib, α -aminoisobutyric acid; Ival, isovaline; D-Ala, D-alanine; L-Ala, L-alanine; Sar, sarcosine.

b) tiszta kromatogram, amely megelőzte a meteorit elemzést.

c) a standard keverék aminosavak kromatogramja.

Amino acid	Concentration (nmol g ⁻¹)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)*
α -Aminoisobutyric acid	20.1	+184
Sarcosine	ND†	+129
Isovaline	8.0‡	+66
Glycine	24.5	+37
β -Alanine	12.8	+61
D-Alanine	–§	+60
L-Alanine	10.4‡	+57
L-Leucine	2.5§	+60
D,L-Proline	ND†	+50
D,L-Aspartic acid	4.7§	+61
D-Glutamic acid	–§	+60
L-Glutamic acid	10.8§	+58

* The $\delta^{15}\text{N}$ values are an average of four GC/C/IRMS analyses, the average error being about $\pm 1\%$. Values are reported relative to the standard, atmospheric N_2 : $\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = [({}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N})_{\text{sample}} / ({}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N})_{\text{standard}} - 1] \times 10^3$.

† Not determined. Sarcosine was not sufficiently resolved by HPLC; the HPLC method did not detect secondary amines such as proline.

‡ The value for isovaline includes a contribution from valine that co-eluted with isovaline during HPLC analysis.

§ Concentrations reported for L-alanine, L-leucine, D,L-aspartic acid and L-glutamic acid represent the total contribution of both enantiomers for the respective amino acids.

|| $\delta^{15}\text{N}$ value reflects contribution of both enantiomers.

(forrás: M. H. Engel, S. A. Macko: Isotopic evidence for extraterrestrial non-racemic amino acids in the Murchison meteorite, Nature 389, 265-268 (18 September 1997) | doi:10.1038/38460)

Mi kell ahhoz, hogy egy szervezet élő legyen? A legprimitívebb élő szervezetnek is rendelkeznie kellett egy olyan örökítő anyaggal, amely a szervezet működéséhez szükséges információt az utódokra átörökítheti. A környezete változásaitól való függetlenedéséhez szüksége volt egy határoló hártýára, membránra. Végezetül a membránnak az osztódással párhuzamos növekedéséhez és az örökítő anyag kettözódéséhez már az első élő szervezeteknek is ki kellett fejlesztenie egy olyan primitív anyagcsererendszert, amely saját magát szabályozni képes (például Manfred Eigen, illetve Gánti Tibor és Szathmáry Eörs munkái). Azt az egyszerűsítést is meg lehet kockáztatni, hogy molekuláris szinten az élethez kell valami, amelyről közel hibamentesen másolatok készíthetők (templát) és kell valami, amely a kémiai folyamatokat felgyorsítani, szabályozni, irányítani képes.

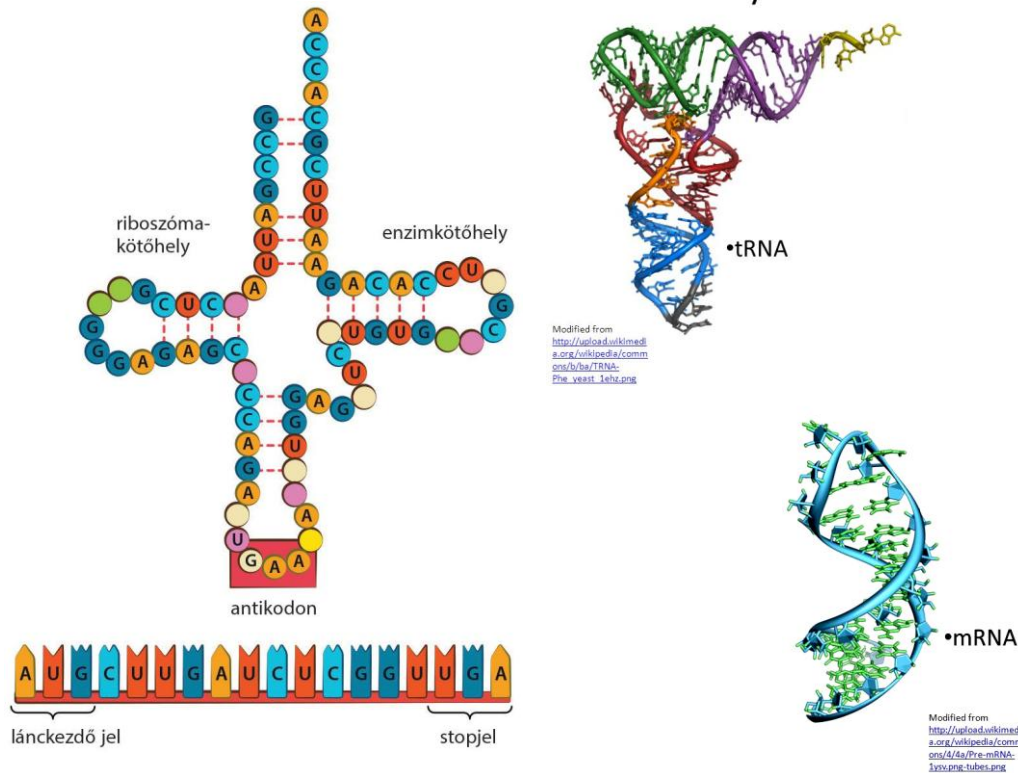
Az élet kialakulásához az előzőek szerint molekuláris szinten egy templát és egy katalizátor jelenléte szükséges. A kémiai reakciókat meggyorsító és szelektivitásukat biztosító fehérjéket hosszú ideig az élet egyik legfontosabb alkotóelemének, feltételének tekintették.

Bizonyos feltételezések szerint a fehérjék, enzimek világa előtt a földi molekuláris evolúció a ribonukleinsavak (RNS-ek) evolúciójaként terjeszkedett. Az RNS azért annyira vonzó mint ösmolekula, mert egyesíteni tudja az enzimekre jellemző katalitikus aktivitást a megkettözödés (önmásolás) precizitásával, amely mindenfajta molekuláris szintű információ pontos megörzésének alapvető feltétele.

(forrás: www.termeszetvilaga.hu/tv9701/csermely.html)

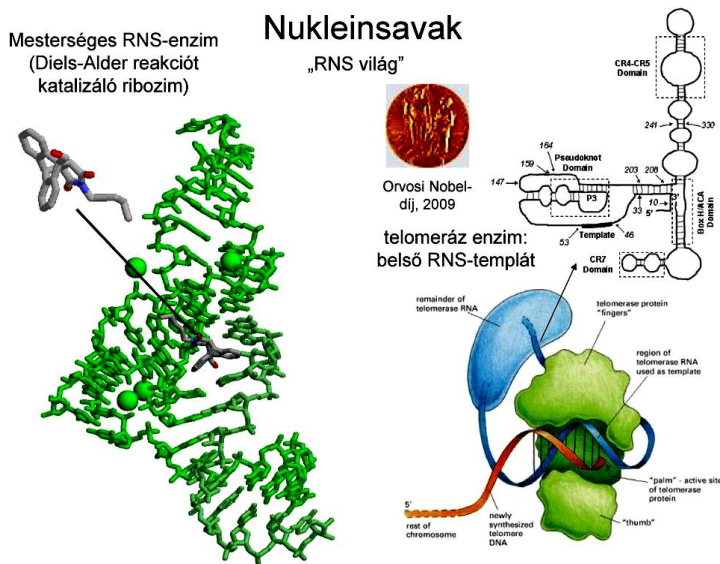
Az abiogenezis vagy az élet keletkezése az a természetes folyamat, amely során élettelen anyagokból (pl. egyszerű szerves molekulákból) élő szervezetek jönnek létre. Az élettelen és az élő közötti átmenet nem egyetlen esemény hatására történt, hanem a fokozódó komplexitás hosszú, fokozatos folyamata volt.

Az abiogenezis tanulmányozása számos tudományág – molekuláris biológia, paleontológia, asztrobiológia, biokémia – határterületén fekszik és azt vizsgálja, hogyan és milyen kémiai reakciók révén jött létre az élet. A korai Föld merőben más környezetet biztosított, mint a mai és az élet alapvető vegyületei, mint a fehérjék, nukleinsavak, szénhidrátok és lipidek is másképp reagáltak környezetükkel. Egy általánosan elfogadott elméletnek meg kell tudnia magyaráznia, hogyan jöttek létre ezek a vegyületcsoportok és hogyan léptek interakcióba egymással. Számos modell az önmagát lemásolni képes molekulák létrejöttét tanulmányozza. Ma ezek közül legsikeresebb az RNS-világ elmélete, amely szerint az első, élőnek mondható rendszerek RNS-en alapultak, mind az információtárolás, mind a reakciók katalizálása szempontjából.



(forrás: www.nkp.hu/tankonyv/biologia_12/lecke_01_001 és <https://slideplayer.com/slide/4840314/>)

Az RNS (ribonukleinsav, angolban: RNA, Ribonucleic acid) molekulák két típusa. Felül egy tRNS, alatta egy mRNS sematikus rajza, mellette 3D képek.



A ribonukleinsav (RNS) a DNS-hez hasonló polimer óriásmolekula, amely sok ismétlődő egységből épül fel. Egységei a ribonukleotidok. A ribonukleotidok száma egy RNS-molekulán belül 75-től több ezerig terjedhet. Minden ribonukleotid egy ribóz cukormolekulából, egy nitrogéntartalmú szerves bázisból és egy foszfátcsoporthoz áll.

Az egyes egységek a foszfátcsoporthoz keresztül, úgynevezett foszfodiészterkötéssel kapcsolódnak egymáshoz. A szerves bázisok az RNS-ben adenin (A), citozin (C), guanin (G) és uracil (U) lehetnek (a DNS-ben az uracil helyett timin található).

(forrás: docplayer.hu/12230948-Gaspari-zoltan-elo-molekulak-az-élet-molekulai.html)

Azt, hogy egyszerű szerves anyagokból a korai Ősföld körülményei között bonyolult biogén molekulák jöhetnek létre, már a klasszikus Miller–Urey-kísérlet bebizonyította. Az ehhez szükséges energiát villámlás, ultraibolya vagy egyéb sugárzás képes biztosítani.

Egyes elméletek az anyagcserét tekintik elsődlegesnek, olyan kémiai hiperciklusok létrejöttét, amelyek aztán alapanyagokat szolgáltatnak az információhordozó molekulák (nukleinsavak) szintéziséhez.

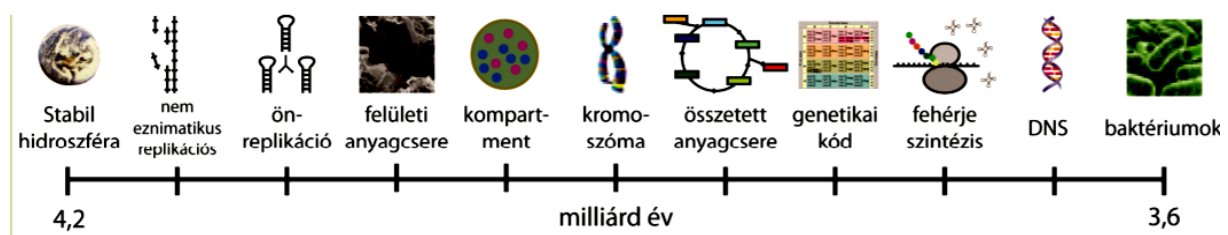
Az élet keletkezéséhez szükséges kiinduló anyagok nem feltétlenül a Földön jöttek létre, az űrben (mind a Naprendszerben, mind a csillagok közötti felhőkben) számos szerves molekulát fedeztek fel.

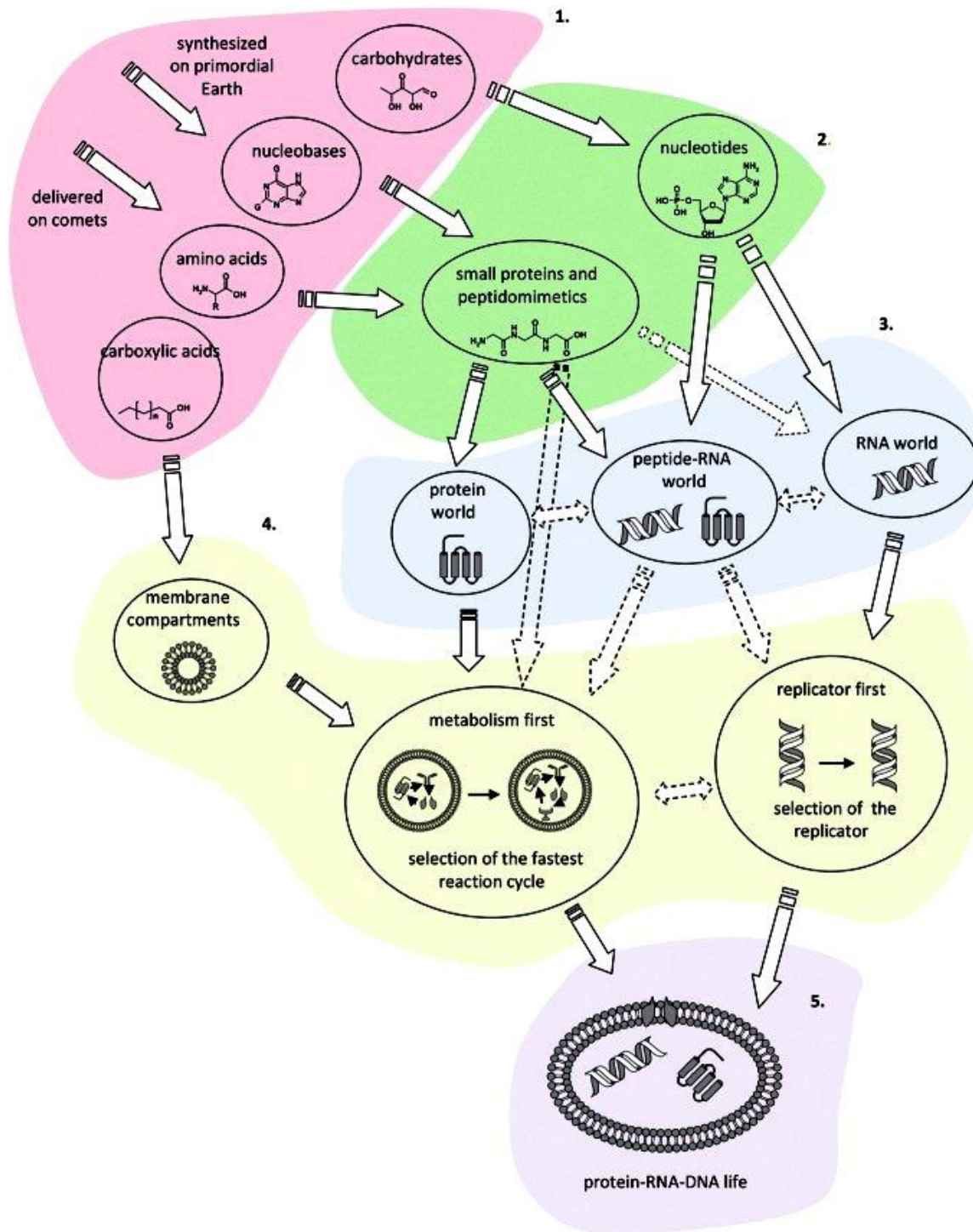
A pánspermia elmélete szerint az élet nem a Földön keletkezett, hanem valahol másutt az Univerzumban és mikroorganizmusok az űrön keresztül, meteorokkal vagy porral jutottak el a Földre. Az elmélet azonban nem magyarázza az élet eredeti keletkezését.

A korai, forró Földnek a feltételezések szerint másodlagos, a vulkanikus aktivitásból és üstökösök becsapódásából származó atmoszférája volt. Sokáig úgy vélték, hogy ez a légkör redukáló jellegű volt, amely elősegíti a szerves anyagok képződését és elsősorban metánt, ammóniát és vízpárát tartalmazott. A későbbi modellek az ősi kőzetek összetételére alapozva azzal számoltak, hogy a korai atmoszféra főleg vízpárából, nitrogénből, széndioxidból, valamint némi szén-monoxidból, hidrogénből és kénvegyületekből állt. A Föld kialakulásakor létrejövő elsődleges atmoszféra nagy mennyiségű hidrogént is tartalmazhatott, de a bolygónak nem volt elég erős a gravitációja, hogy ezt megtarthassa.

Az óceánok kb. 200 millió évvel a Föld keletkezése után jöttek létre, amikor a légkör hőmérséklete 100 °C alá csökkent. Vizük sok oldott szén-dioxidot tartalmazott, ezért pH-ja viszonylag alacsony, 5,5-5,8 lehetett. Az erős vulkanikus aktivitás és számos kisebb tektonikus lemez megléte ellenére ekkor még nem léteztek kontinensek és a Föld felületének döntő többségét víz borította. Ehhez hozzájárult még a rendkívül turbulens atmoszféra, az ózonpajzs nélküli és a mainál erőteljesebb UV-sugárzás, a kozmikus sugárzás és a gyakori aszteroidabecsapódások.

Ekkor még nagyobb, kisbolygó méretű (akár 500 km-es) égitestek is ütközhettek a Földdel, amelyek becsapódása nyomán felforrta az óceánok és a hőmérséklet akár csak néhány ezer év múlva csökkent le annyira, hogy a víz ismét folyékony állapotban létezhesen a bolygón.

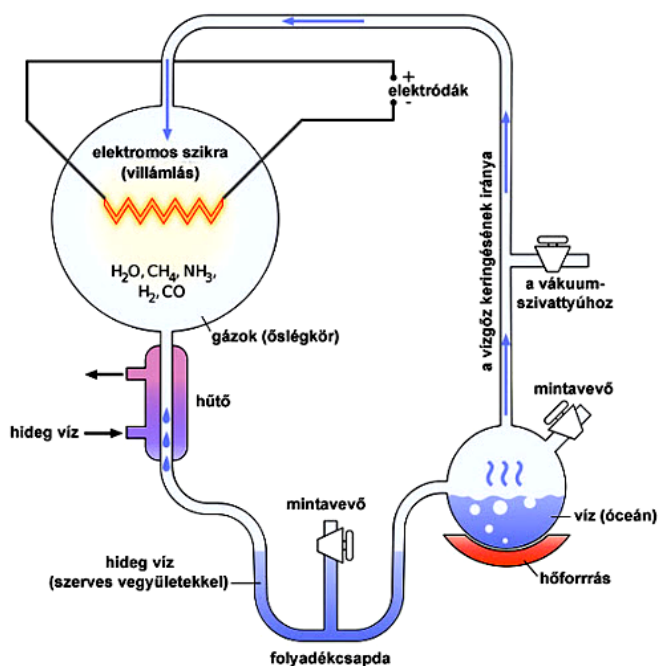




(forrás: Astrobiology Primer v2.0.,
 Astrobiology, 01 Aug 2016, 16(8):561-653,
 DOI: 10.1089/ast.2015.1460 PMID: 27532777 PMCID: PMC5008114,
<http://europepmc.org/article/PMC/5008114>, és <http://europepmc.org/backend/ptpmcrender.fcgi?accid=PMC5008114&blobtype=pdf>)

A prebiotikus evolúció lehetséges szakaszai, általános sémái. (forrás: Adamala K., adaptálva a Eigen és Schuster által javasolt forgatókönyvhöz)

Az élet eredetét illetően jelenleg nincs olyan modell, amely általánosan elismert lenne. Több elfogadható hipotézis létezik, amelyek bár egyes részletekben különböznek, számos pontban megegyeznek egymással és azokon az elképzeléseken alapulnak, amelyeket még Oparin és Haldane fektetett le. Eszerint az első sejteket alkotó molekulák természetes körülmények között, a molekuláris evolúció lassú folyamata révén jöttek létre.



Oparin és Haldane még úgy vélte, hogy a korai atmoszféra alapvetően redukáló volt és főleg metánt, ammóniát, vizet, kén-hidrogént, szén-dioxidot és szén-monoxidot tartalmazott. A későbbi modellek inkább nitrogénből és szén-dioxidból álló légkörrel számolnak (némi szén-monoxiddal, hidrogénnel és kénvegyületekkel, vagyis kevésbé volt redukáló természetű, mint korábban feltételezték).[60] Molekuláris oxigén és ózon csak nyomokban volt benne.

(forrás: www.wikiwand.com/hu/Miller-Urey-kísérlet)

Egyes számítógépes szimulációs modellek szerint az élet létrejöttéhez szükséges szerves molekulák egy része még a bolygók kialakulása előtt, a korai Nap körül keringő gázfelhőben szintetizálódhatott. Hasonló folyamatok természetesen más, bolygórendszerrel rendelkező csillagok körül is lejátszódhattak. A becslések szerint az ekképpen kívülről kapott szerves anyagok mennyisége legalábbis összevethető a földi folyamatok során létrejött anyagokéval.

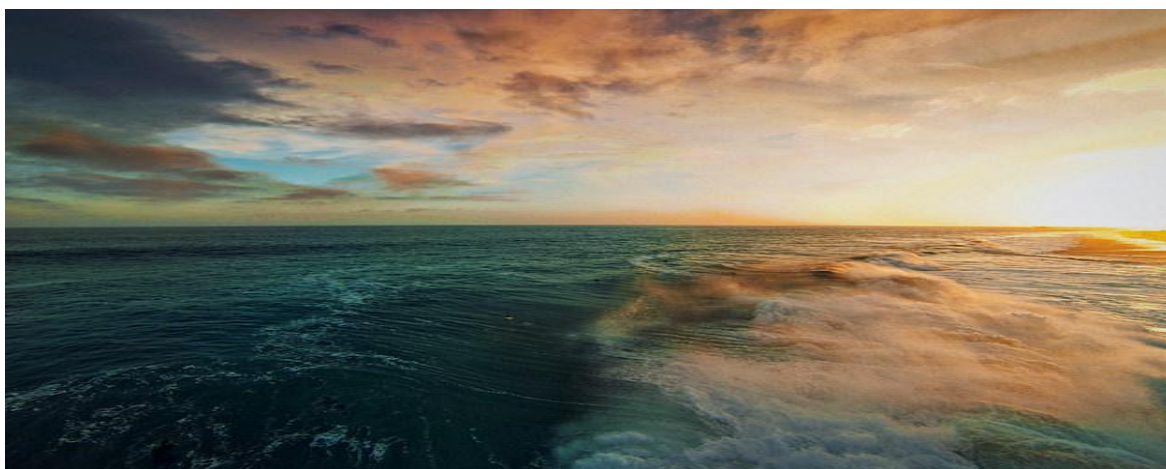
A Föld korai életszakaszában a sűrű aszteroidabecsapódások több tíz méter mélyen sterilizálhatták a bolygó teljes felszínét. Amennyiben az élet ennél mélyebben keletkezett, akkor egyúttal védve volt a fiatal Nap erőteljes ultraibolya sugárzásától is. Everett Shock kutatásai során azt találta, hogy a mélytengeri, geotermikusan aktív környezet, a tengervíz és vulkanikus gázok, folyadékok elegyedése jóval több szerves molekulát hozhat létre, mint a Miller-Urey-kísérlet. Becslése szerint a felhasználható energia maximuma 100–150 °C körül található, amelynek alsó határát a hipertermofil és hiperacidofil archeák (molekuláris biológiai vizsgálatok szerint a közös őshöz legközelebb álló élőlények) optimálisnak találják a létezésükhöz.



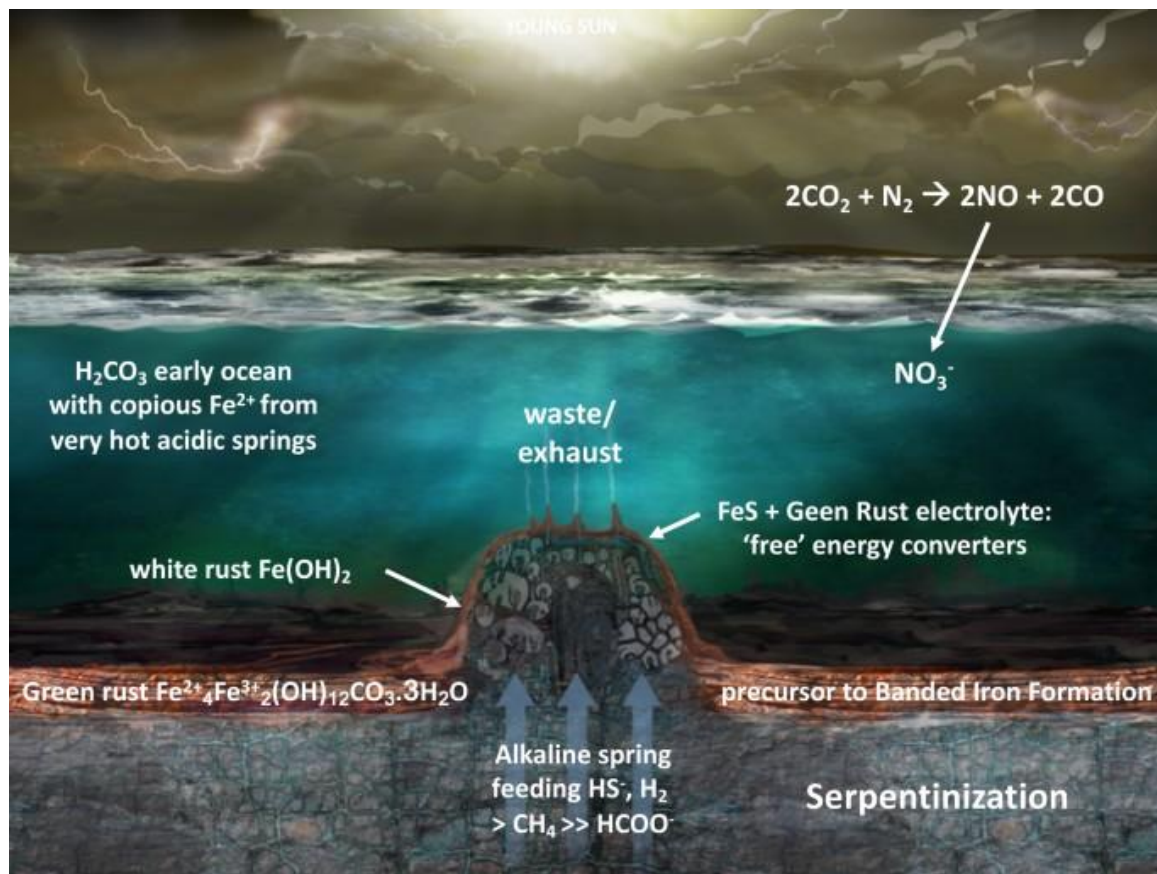
(forrás: www.chemistryworld.com/news/meteorites-mechanical-energy-might-have-created-building-blocks-of-life/3008600.article)

Az élet kialakulásához a „nagy bombázás” lecsengése után (3,8 milliárd évvel ezelőtt) minden feltétel együtt volt: folyékony víz, továbbá szerves vegyületek (mint aminosavak (a fehérjékhez), nitrogéntartalmú heterociklusok (a nukleinsavakhoz), formaldehid, amiből szénhidrátok keletkezhetnek (a nukleinsavakhoz és poliszacharidokhoz)), valamint redukáló (nem oxidáló) légkör.

A szén-dioxid ugyan nem redukáló, hanem ebből a szempontból semleges, de bizonyára voltak jelen redukáló hatású komponensek is, mint metán, ammónia és hidrogén. Oxigén pedig nyilvánvalóan nem volt jelen, hiszen a mai légkör oxigéntartalma a növényi fotoszintézis „mellékterméke”.

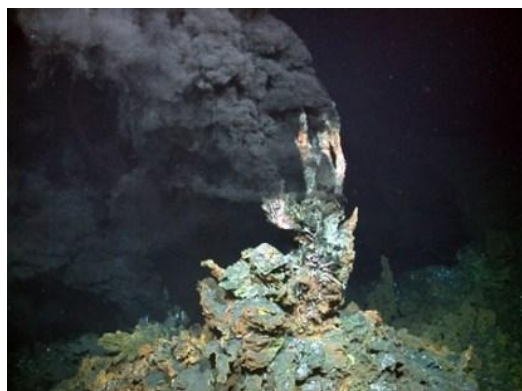


(forrás: fotó: Dirk Dallas, www.flickr.com/photos/dirkdallas/16433066065/)



(forrás: E. Camprubi, J. W. de Leeuw, C. H. House, F. Raulin, M. J. Russell, A. Spang, M. R. Tirumalai & F. Westall: The Emergence of Life Space Science Reviews volume 215, Article number: 56 (2019), Published: 12 December 2019., és link.springer.com/article/10.1007/s11214-019-0624-8/, és www.colorado.edu/origins/2019/01/08/cso-and-center-astrobiology-special-lecture-dr-michael-russell)

Azt, hogy az élet ilyen forró vizes közegben indulhatott el, az is alátámasztani látszik, hogy a legősibbnak tartott egysejtű élőlények, az Archeák (régőbbi nevükön archebaktériumok, vagy ősbaktériumok) között találjuk a legmagasabb hőmérsékleteken élő és szaporodó szervezeteket.



Ezek a mikroorganizmusok ma forró forrásokban, gejzírekben és a mélytengeri forró vizes kürtők környékén tenyésznek, közöttük a „rekordot” ma a *Pyrolobus fumarii* tartja, amely 113 °C-on (!) is szaporodik. (Markó László, Miért „balkezesek” a fehérjéket felépítő aminosavak?)

(forrás: www.termeszetvilaga.hu/tv99/tv9901/balkez2.html)

(forrás: <https://haconfrinatek.com/education-under-construction/>)

Extrém környezetben keletkezhetett az élet?

A Bristol-i Egyetem tudósai a mai élőlények genetikai anyagának összehasonlításával arra jutottak, hogy valamennyi földi életforma közös őse már 4,5 milliárd évvel ezelőtt létezett.

Philip Donoghue professzor és Dr. Tom Williams, a tanulmány társszerzője a Bristol-i Egyetem Földtudományi Tanszékéről tanulmányukban kifejtették, hogy: „A fosszilis és genomikai információ kombinálásával hasznát vehetjük a „molekuláris óra” néven ismert megközelítésnek. Ennek az alapgondolata az, hogy bármely két ma élő élőlény – például egy baktérium és egy ember – genomjai közti különbségek száma arányos az azóta eltelt idővel, amióta kettejük evolúciós leszármazási fája egy közös ősből kiindulva kettévált”.

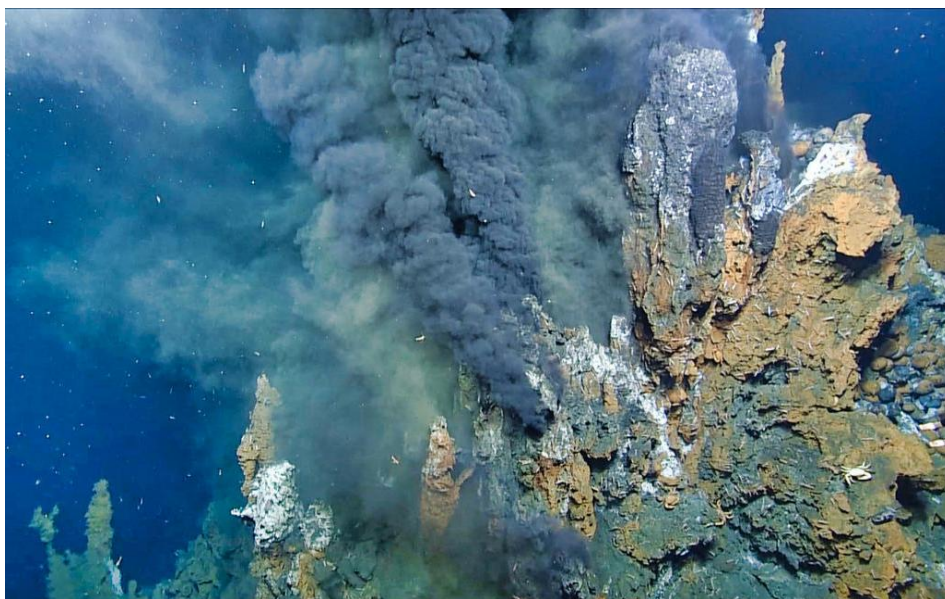
Ennek az elvnek a felhasználásával a bristoli csoport a Bath-i Egyetem munkatársával, Mark Puttickkal együttműködve felállította a földi élet történetének egy olyan idővonalát, amely nem függ attól, ki mennyi időnek gondolja az épp legrégebbnek elfogadott fosszilis emléket. E megközelítés segítségével sikerült megmutatnunk, hogy valamennyi ma élő sejtes létforma közös őse, a „LUCA” (Last Universal Common Ancestor, vagyis az „utolsó közös ős”) a Föld történetének nagyon korai szakaszában, csaknem 4,5 milliárd évvel ezelőtt létezett – vagyis nem sokkal az után, hogy a Földbe csapódó Theia bolygó kiszakította a Hold anyagát, s egyben kiirtotta bármely lehetséges élet minden csíráját– nyilatkozta Davide Pisani professzor, a közlemény társszerzője, hozzátéve: „Ez a dátum lényegesen korábbi annál, mint amit a pillanatnyilag elfogadott legősibb fosszilis bizonyítékok alapján sejtenénk.”

A földi élet kezdeteit pusztán a fosszilis emléknymokra alapozva korábban nagyjából 4 milliárd évvel ezelőttre tették. Az élet legrégebbi fosszilis nyomai a sztromatolitoknak nevezett réteges kőképződmények, amelyek sekély vizekben épültek fel oly módon, hogy a baktériumok egymásra növekvő rétegeibe berakódtak és összecementálódtak a kőzetüledék morzsái. A legöregebb ma ismert sztromatolitokat 2016-ban fedték fel az olvadó hó alatti területen Grönladon. Az Isua-övezet fossziliái 3,7 milliárd éves becsült korokkal a korábban legrégebbnek vélt kőületek.

Eredményeik alapján úgy tűnik, hogy az élet két fő ága, az eubaktériumoké és az archaebaktériumoké egymilliárd évvel a LUCA után vált szét. A genomikai információ nélkül kizárólag a rendelkezésre álló fosszilis adatok alapján lehetetlen volna az eubaktériumok és archaebaktériumok legrégebbi nyomait egymástól megkülönböztetni.

A tanulmány további bizonyítékokat szolgáltat a már korábban elfogadott nézethez, miszerint az eukarióta leszármazási vonal – az életnek az az ága, amelyhez a növényekkel és gombákkal együtt az emberi faj is sorolható – nem tartozik az elsődlegesen létrejött létformák közé. Az 1960-as évek óta elfogadott elmélet szerint az eukarióta sejtek úgy jöttek létre, hogy egyes ősi archaeobaktériumok belsejébe eubakteriális szimbionták költöztek, s bár ezzel az endoszimbiontikus kapcsolattal az élet minőségileg új formája jött létre, de ezzel mégiscsak két már létező létforma sorsát kapcsolta össze, s nem teljesen újat hozott létre.

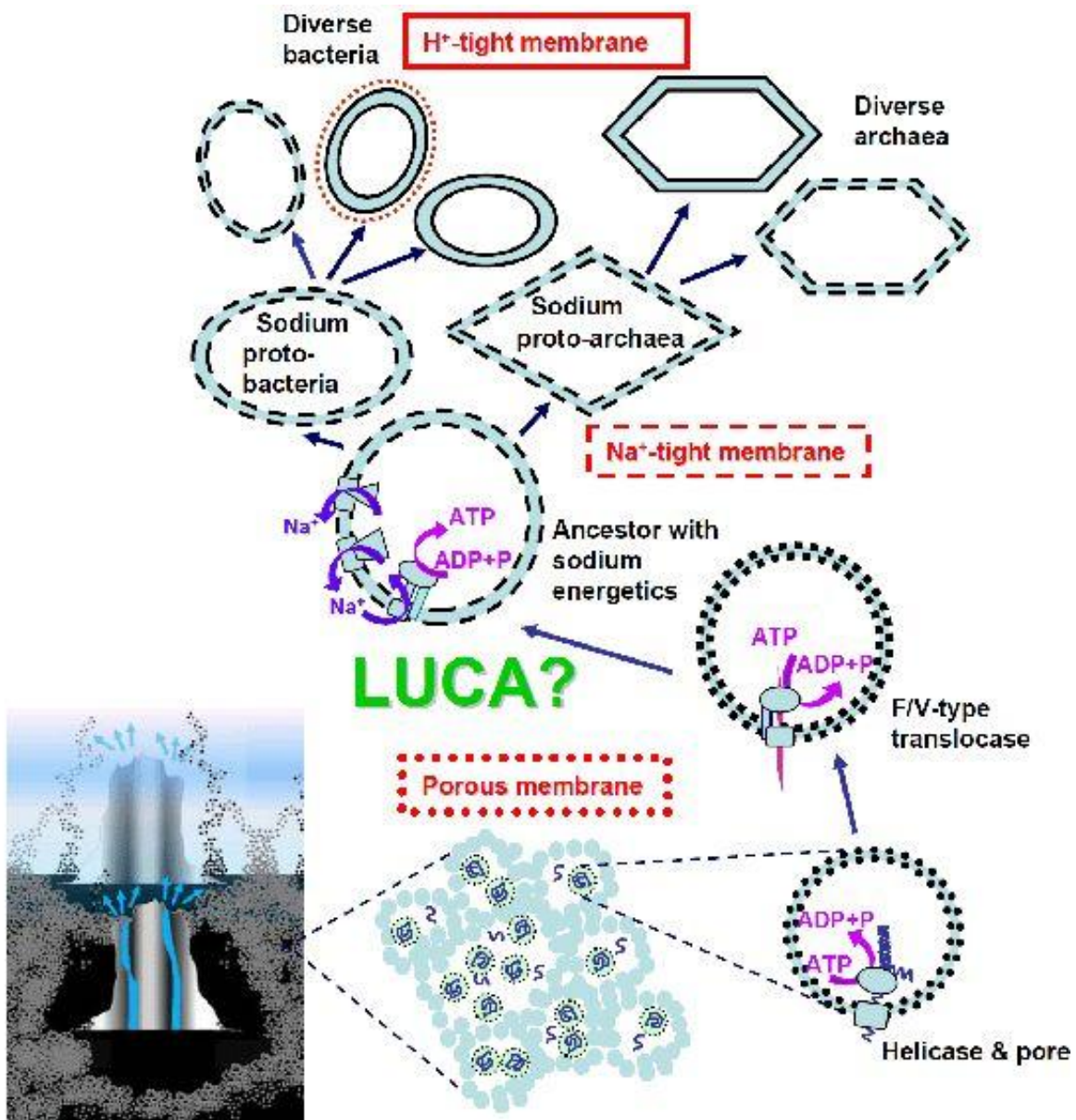
A Nature Microbiology hasábjain megjelent cikk ezt boncolgatja. William Martin, düsseldorfi Heinrich Heine Egyetem evolúcióbíológusa és munkatársai 6,1 millió fehérjét kódoló gént vizsgáltak meg, amelyek egysejtű szervezetekben, archeákban és baktériumokban találhatóak. Az evolúciós útvonalakat figyelembe véve összesen 355 olyan gént határoztak meg, amelyek jelen lehettek LUCA-ban. Martina gének természetéből igyekezett kikövetkeztetni, milyen lehetett az ősi organizmus élete. A Martin a The New York Times magazinnak nyilatkozó William Martin elmondta, hogy LUCA valószínűleg forró, oxigénhiányos környezetben élt, ahol sok ásványi anyag szolgált táplálékául. Más szóval a környezet nagyon hasonló lehetett egy mai hévforráshoz.



(forrás:
home.nps.gov/para/learn/nature/breccia-pipe-mining-on-the-arizona-strip-and-in-the-grand-canyon.htm
 és
physics.aps.org/articles/v13/117)

Az elképzelést azonban többen vitatják. Míg Martin úgy véli, hogy LUCA olyan organizmus lehetett, amely evolúciósan nagyon közel állhatott minden élet kezdetéhez a földön, más kutatók azt gondolják, hogy az élet először a sekély, napsütötte pocsolyákban alakult ki.

Utóbbiak szerint azok a gének, amelyeket Martin talált már egy evolúcióban előrébb járó lényhez tartoztak, akár lehetett a legidősebb közös ősünk, de nem az első életformák egyike a bolygón.

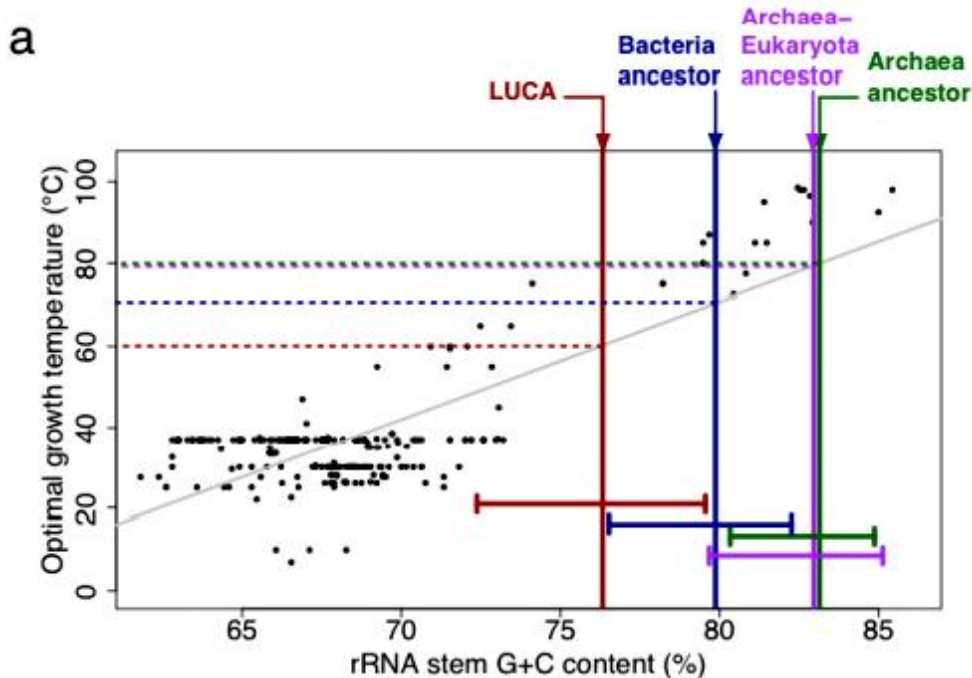


(forrás: <https://hu.pinterest.com/pin/560487116095772037/>)

Az sematikus rajzon látható a hipotetikus organizmus, amelytől minden mai élőlény származik, mintegy 3,8-4 milliárd éve bukkanhatott fel a Földön. A jelenleg leginkább elfogadott nézetek szerint - a mai élőlények közös genetikai örökségének elemzése alapján - ez az „utolsó univerzális közös ős” (Last Universal Common Ancestor, „LUCA”) egy szélsőségesen melegkedvelő (hipertermofil) egysejtű szervezet lehetett, amely a mai mélytengeri füstlőgökhöz hasonló kemény környezetben élhetett.

Az élet két fő ága, az eubaktériumoké és az archaeobaktériumoké mintegy egymilliárd évvel a LUCA után vált szét.

Ennek ellentmondó eredményeket közöltek kanadai és francia genetikusok (Université de Montréal), akik szerint LUCA jóval szelídebb körülmények között élt: a feltételezett 90 Celsius-fok feletti hőmérsékletek helyett csak körülbelül 50 Celsius-fokon.



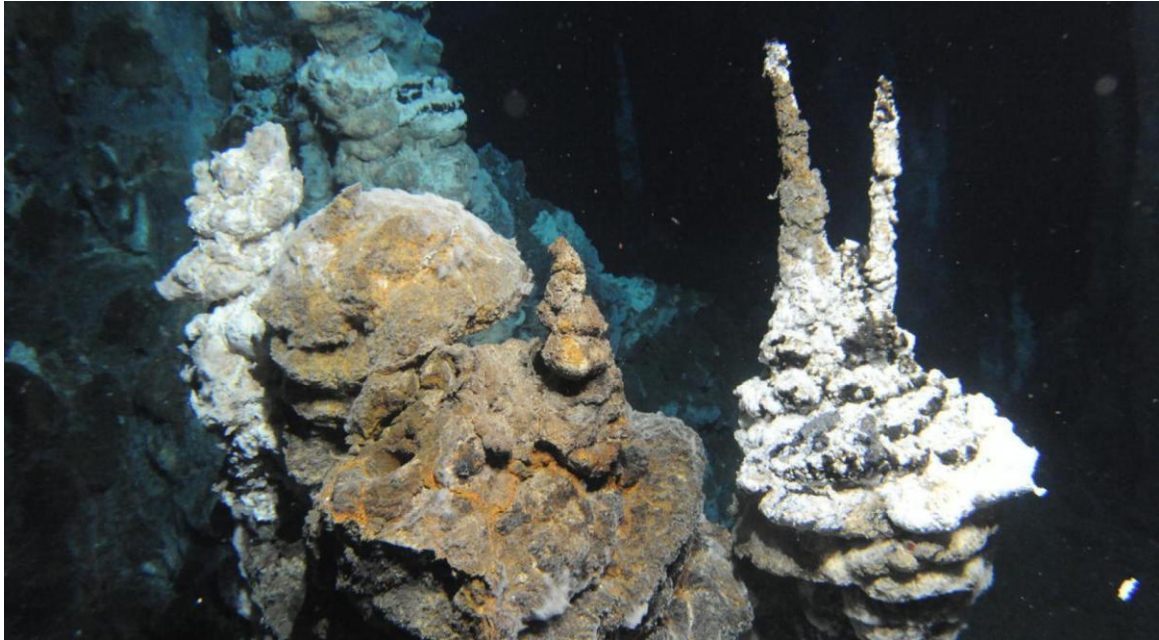
(forrás: Bastien Boussau, Samuel Blanquart, Anamaria Necșulea, Nicolas Lartillot, Manolo Gouy. Parallel adaptations to high temperatures in the Archaeal eon. *Nature*, 2008; 456 (7224): 942 DOI: 10.1038/nature07393, és University of Montreal. „Earth's Original Ancestor Was 'LUCA'.” ScienceDaily. ScienceDaily, 19 December 2008., www.sciencedaily.com/releases/2008/12/081217124200.htm)
[ww.researchhttps://chgate.net/publication/23501038_Parallel_adaptations_to_high_temperatures_in_the_Archean_eon](https://chgate.net/publication/23501038_Parallel_adaptations_to_high_temperatures_in_the_Archean_eon))

A LUCA lényegesen kevésbé termofil, mint közvetlen leszármazottai (értékek $\leq 0,005$)

Ha ez valóban így volt, akkor viszont LUCA lehetett ribo-organizmus, azaz az RNS-világ képviselője is: az alacsonyabb hőmérsékleten ugyanis stabilak maradhattak az RNS-molekulák, nem kellett még feltétlenül a masszívabb DNS-t alkalmazni.

A kutatók szerint tehát LUCA hűvösebb tengeri környezetekben fejlődhetett ki, és leszármazottai, a már DNS-t használó ősi baktériumok és archaeák voltak azok, amelyek fokozatosan alkalmazkodtak az egyre forróbb környezetekhez, közelebb merészkedve a tápanyagokat bőségesen ontó mélytengeri füstölgők szívéhez.

Japán tudósoknak 12 év kutatómunka eredményeképpen sikerült egy mélytengeri hidrotermális mezőből, a Loki Castle (Észak-Atlanti-óceán) földminták kivontából laboratóriumi elemzés után különböző baktériumok genetikai kódrészleteit azonosítani.

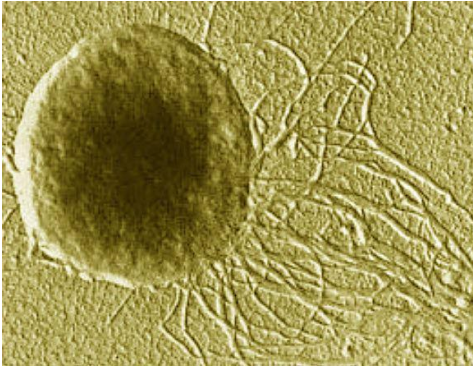


(forrás: University of Bergen, Norvégia,
www.huffingtonpost.fr/2015/05/07/decouverte-nouveau-microbe-lokiarchaeota-arrivee-sur-terre_n_7233444.html,
www.quantamagazine.org/lokiarchaeota-and-the-origin-of-complex-life-20151029)

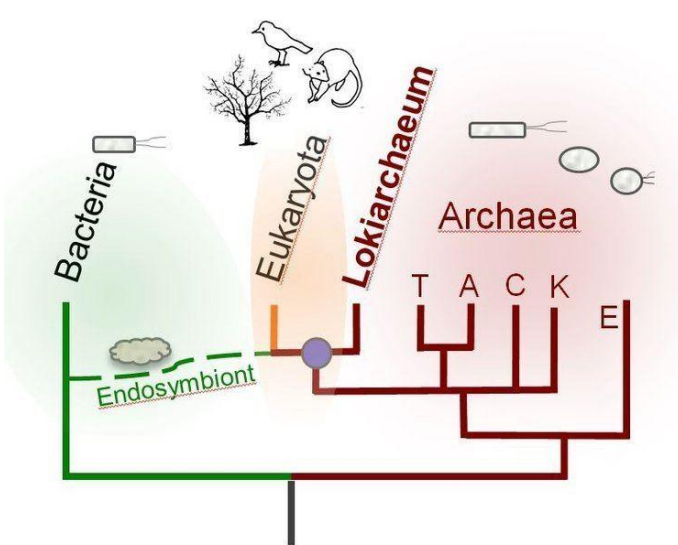
Lokiarchaeotát először Norvégia partjainál fedezték fel, 15 kilométerre a Mélytengeri szellőzőnyílásoktól, amit a képen látható Loki kastélyának ismernek.

Ezután a szakértők izolálták az archeák egyik típusának génjeit, és Lokiarchaeota-nak nevezték el. Ezután más loci-szerű archeát is találtak más laboratóriumokban. Ezek a mikroorganizmusok együtt alkottak egy úgynevezett vonalat, az Asgard archeát.

A vizsgálat ezen szakasza után vált lehetségessé az ősi organizmusok laboratóriumban való kihozása. Ehhez a kísérlethez bioreaktort terveztek, amely képes megteremteni a feltételeket egy nagy metánkoncentrációjú mélytengeri hidrotermális mezőhöz. a mikrobák több évig szaporodnak új élőhelyükön, ami után megadták az élet első jeleit.



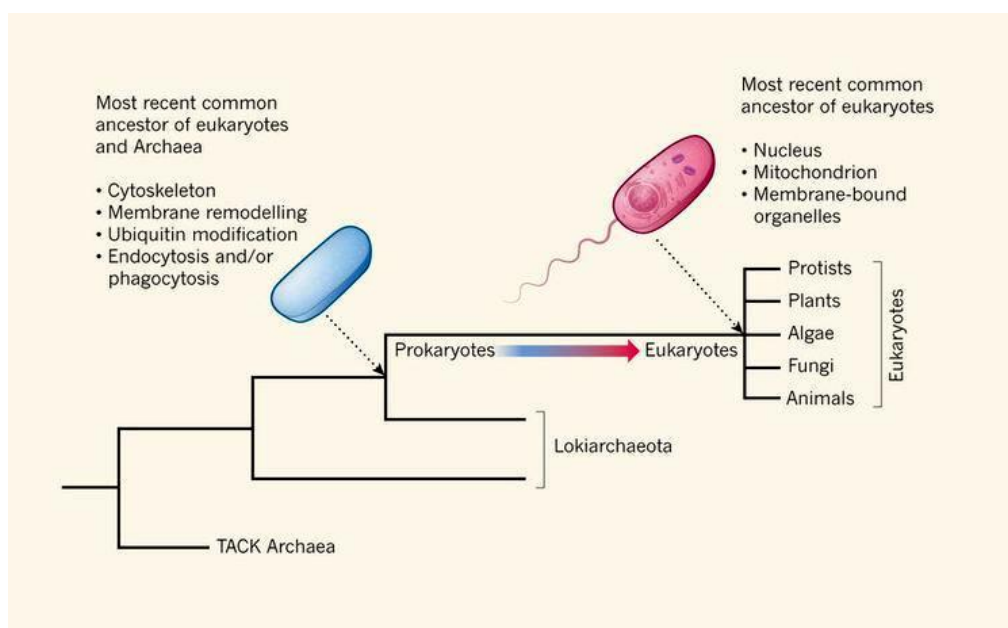
(forrás: www.quantamagazine.org/loki-archaeota-and-the-origin-of-complex-life-20151029 és <https://alchetron.com/Lokiarchaeota>)



Törzs „Lokiarchaeota” (Spang et al. 2015.)

A Lokiarchaeum kompozit genom 5381 fehérjekódoló génből áll. Ezek közül nagyjából 32% nem felel meg semmilyen ismert fehérjének, 26% nagyon hasonlít az archeális fehérjékre, és 29% megfelel a bakteriális fehérjéknek. Ez a helyzet összhangban van a következőkkel: i. egy új törzsből származó fehérjék (kevés közeli hozzátartozóval vagy egyikkel sem), amelyekhez nehéz hozzárendelni a megfelelő tartományt; és (ii) a meglévő kutatások, amelyek arra utalnak, hogy jelentős tartományok közötti géntranszfer történt a baktériumok és az Archaea között.

A kutatók úgy tartják, hogy ez a mikroorganizmus hasonlít arra, amelyik összetett élet kialakulásához vezetett a Földön.



(forrás: <https://alchetron.com/Lokiarchaeota>)

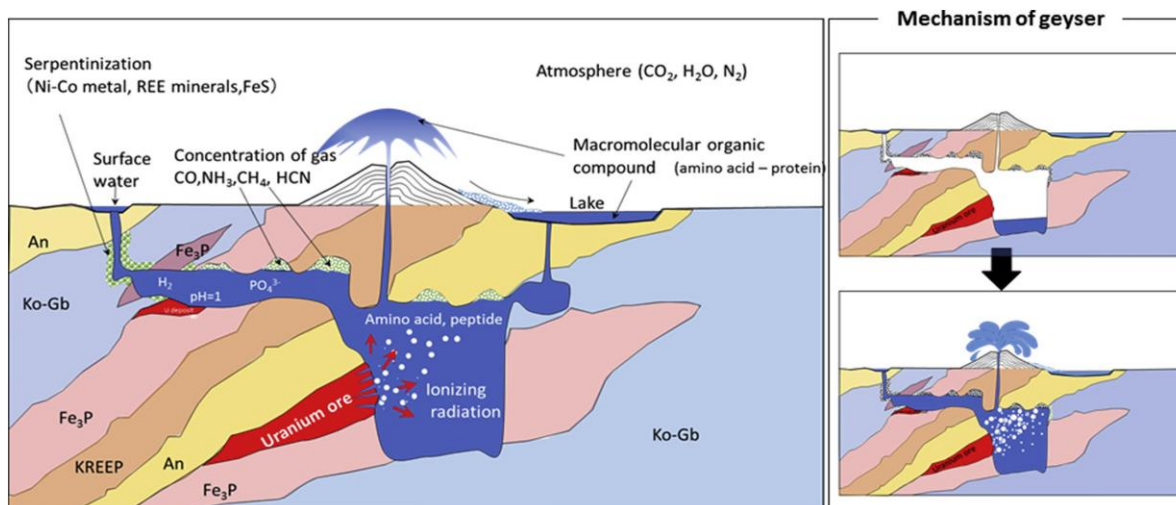
Természetes atomreaktor is lehet az élet kialakulásának helye- beleértve a hasznos tápforrást is – írja a Cosmos magazin 2018. április 17. számában Richard A. Lovett.

Egy természetes gejzír a nukleáris maghasadás uránium-lerakódása során lehetővé tette az ideális feltételeket a biomolekulák kialakulásához.

Nicholas Hud, a Georgia Institute of Technology (Atlanta Intézet) kémikusa szerint az élet legfontosabb vegyi anyagai, és feltehetően az élet maga is olyan környezetben alakultak ki, amely váltakozva nedves és száraz volt. Egyes prebiotikus kémiai reakciók mérsékelt hőmérsékleten könnyen előfordulnak, de mások koncentráltabb energiaforrást igényel. Ez az energia származhatott a napból, amely a korai naprendszerben az úgynevezett „halvány fiatal Nap” paradoxon miatt 30 százalékkal halványabb volt, mint ma. Ez azt eredményezhette volna, hogy a Föld túl hideg legyen a folyékony vízhez. De a geofizikusok tudják, hogy a folyékony víz már a földtörténet korai szakaszában jelen volt. Néhány üvegházhatást okozó gáz a bolygó légkörében biztosan csapdába ejtette a hőt. Guillaume Gronoff szerint nehéz megérteni, hogy a szén-dioxid, elegendő mennyiségben mikén lehetett volna jelen. A Dinitrogén-oxid (N_2O), azonban egy még erősebb üvegházhatást okozó gáz - 300-szor hatásosabb, mint a szén-dioxid. Gronoff úgy véli. „Ez elég ahhoz, hogy megmagyarázza a gyenge fiatal nap paradoxon.”

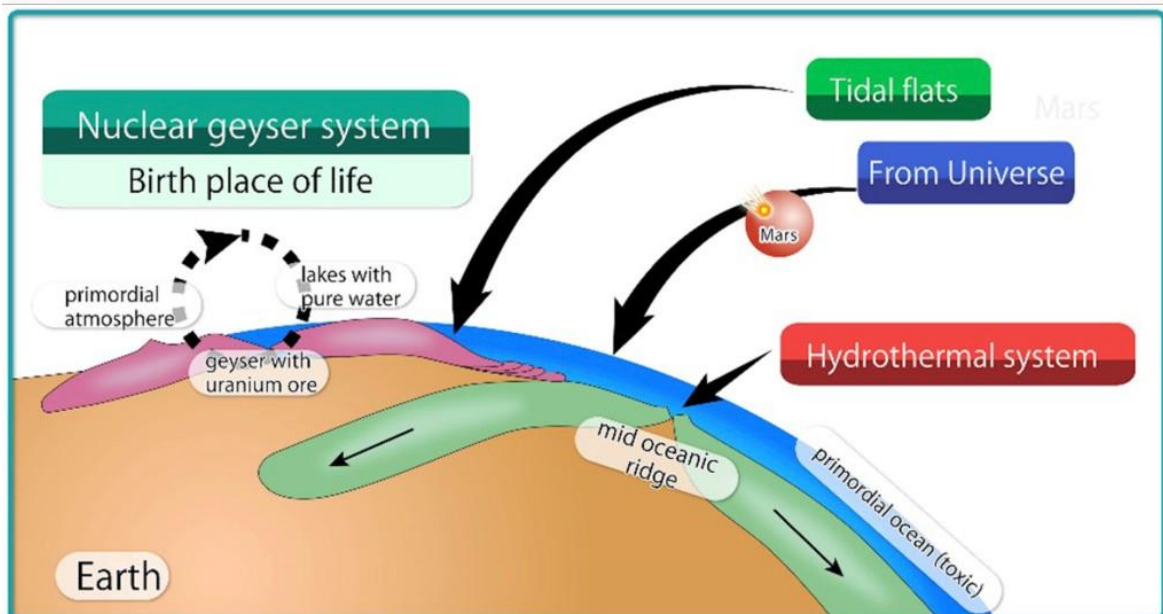
Azonban egy másik forrás a sugárzás is lehetséges, ami visszavezet minket a nukleáris gejzírekhez. – írja tanulmányában Robert Pascal, a Montpellier Egyetem franciaországi fizikai szerves vegyész. A Hud és Pascaléhoz hasonló elemzések alapján Maruyama kilenc követelményt határozott meg az élet születési helyére. Egy hely, ahol minden egyszerre megtörténhet, írja Maruyama, egy nukleáris gejzír vízcsatornáiban van.

A gejzír időszakos kitörései is váltakozó, nedves és száraz ciklusokat eredményeznének. A gejzír földalatti csatornáit bélelő kőzetek ásványi anyagokat, például káliumot és kalciumot tartalmaznak.



(forrás: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987116301360)

„Ez az a hely, amelyet az élet eredetére ajánlok” - írja Shigenori Maruyama (Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology).



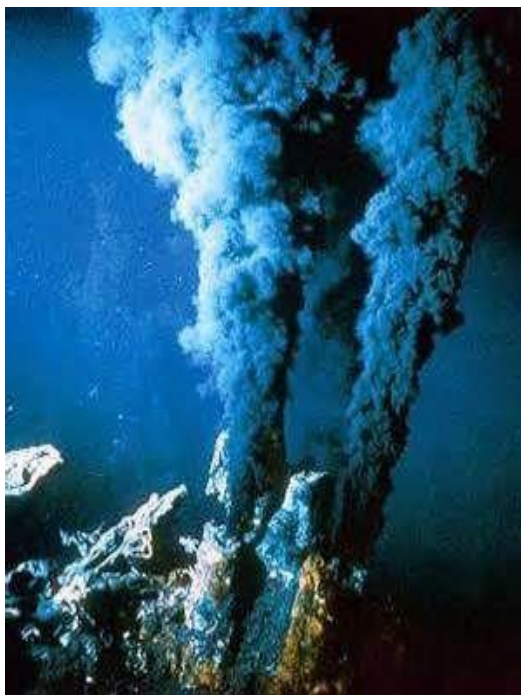
(forrás: Toshikazu Ebisuzakia, Shigenori Maruyama: Nuclear geyser model of the origin of life: Driving force to promote the synthesis of building blocks of life, doi.org/10.1016/j.gsf.2016.09.005, Volume 8, Issue 2, March 2017, Pages 275-298, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987116301360)



(forrás: Sopa Images / Getty Images
<https://cosmosmagazine.com/biology/nuclear-geyser-may-be-origin-of-life>)

Egy természetes gejzír, egy uránlelőhelyen ahol atommaghasadás történik, ideális feltételeket biztosíthat a biomolekulák létrehozásához.

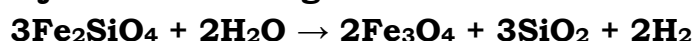
Bizonyos modellek szerint az élet a tengerek mélyén keletkezett, a tektonikus repedések mentén feltörő hőforrások, hidrotermális kúrtók közelében. Az elmélet hívei szerint az életfolyamatok a források vas-szulfid-tartalmú csapadékán, a feltörő forró, kéntartalmú geotermikus víz és a vas (II)-ionokat tartalmazó óceáni víz határterületén alakultak ki.



A természetes úton kialakuló, az ősi üledékekben is megfigyelt háromdimenziós kompartmentek a mai sejtfalak és membránok elődeiként szolgálhattak. A vas- és nikkel-szulfidoknak ismert tulajdonsága, hogy katalizálják a szén-monoxid és a metil-szulfid egyesülését acetil-metilszulfiddá, így lehetővé teszik a szerves molekulákba való beépülését. A hőforrások kémiai redoxireakciók formájában bőséges és állandó energiaforrást is biztosítanak; ennek során a fém-szilikátok és víz reakciójában keletkező molekuláris hidrogén elektronja kerül át a tengervízben oldott szén-dioxidra, mint elektronakceptorra, ami kimondottan exoterm reakció.

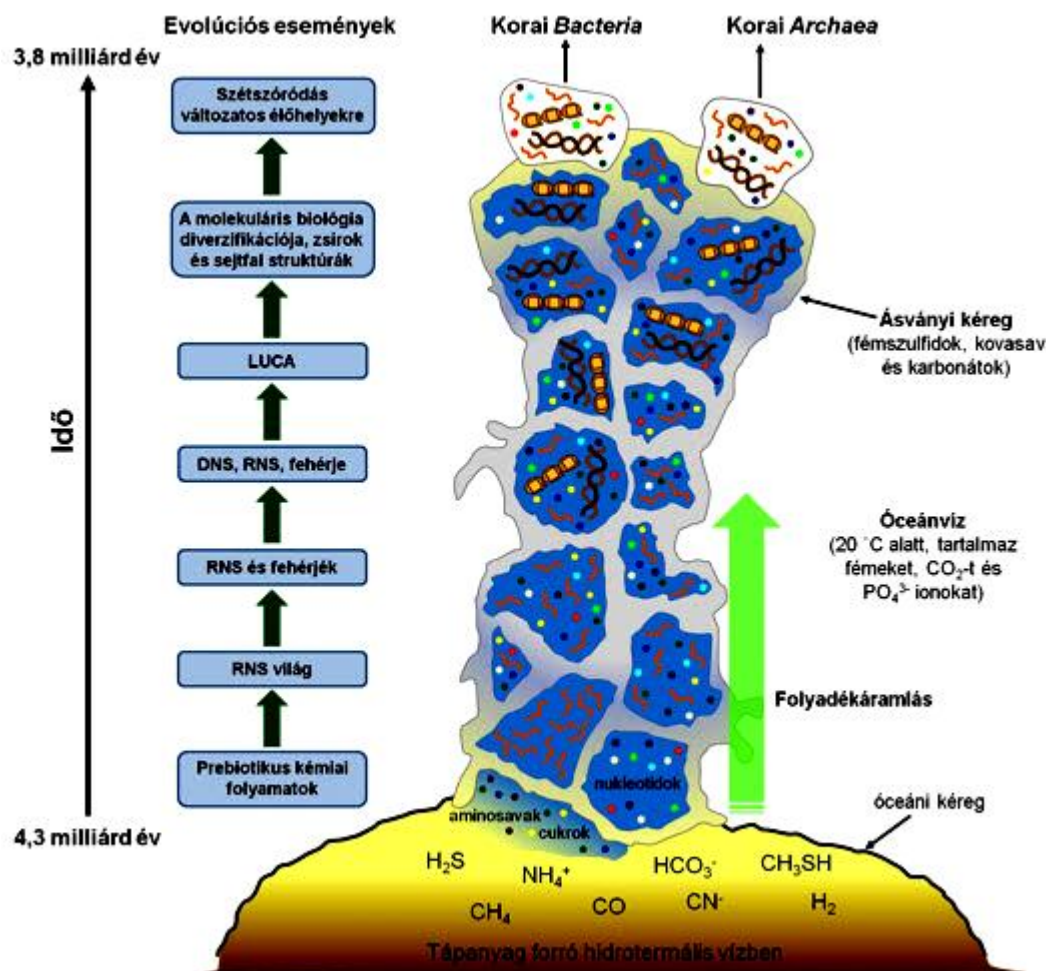
(forrás: https://da.wikipedia.org/wiki/Hydrotermisk_væld)

fajalit + víz → magnetit + szilícium-oxid + hidrogén



Kimutatták, hogy a hőforrások közelében egy abiotikus eredetű protongradiens figyelhető meg, hasonló, mint amiből az élőlények az energiájukat nyerik. Jack W. Szostak szerint a geotermális tavakban nagyobb volt az esély az élet keletkezésére, mert a reakciókhoz szükséges ásványok könnyebben feldúsulnak. Egy, a tengervizet és ásványvizet összehasonlító elemzés szerint az utóbbi optimális mennyiségben tartalmazott bikarbonátokat és kalciumot. Ezekben az édesvízi hőforrásokban ugyanazok a reakciók lejátszódhatnak, mint a tengerben, de pH-juk 9-11 közötti, ami kedvező az aminosavak és nukleotidok polimerizációjához.

Ami a szerves molekulák kialakulását illeti, mind kísérleti adatok, mind számítógépes modellek alátámasztják, hogy a hőforrások ásványi csapadékának felszíne hasonlóképpen tudja katalizálni a reakciókat, mint egyes enzimek teszik és segédkeznek abban, hogy az oldott szén-monoxidból metanol, hangyasav, ecetsav vagy piroszőlősav keletkezzenek.



(forrás: regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0073_bevezetes_prokariotak_vilagaba/ch02.html)

A földi élet kialakulásának lehetséges folyamata mélytengeri halmokhoz kapcsoltnak.

(LUCA, „Last Universal Common Ancestor”, utolsó univerzális közös ős)

Bár az RNS meglehetősen könnyen fragmentálódik, a gélszerű anyagokat is tartalmazó fentebb említett halmok hidegebb régióiban hosszabb ideig is épen maradhattak az egyedi molekulák. Az RNS-ek különböző egyszerű szerves molekulákat (nukleotidokat, aminosavakat, stb) képesek megkötni, ezért saját molekuláik szintézise mellett egyszerű fehérjék felépülését is segíthették, vagyis az enzimekhez hasonló katalitikus aktivitással rendelkeztek (innen a ribonukleinsav és enzim szavak összevonásából származó ribozim elnevezés). Az így létrejövő és felhalmozódó különböző típusú fehérjék egy része a halmok felszínéhez kötődött, majd átvette az RNS-ek kémiai reakciókat katalizáló szerepét. Később az RNS-nél sokkal stabilabb DNS molekulák megjelenésével az RNS információt raktározó szerepe is háttérbe szorult, és kialakult a biológiai információ tárolásának és kifejeződésének hármass egysége, a DNS-RNS-fehérje molekuláris rendszer.

A hidrotermális kúrtóket 1977-es felfedezésük óta intenzív tudományos érdeklődés övezi, hiszen azokra a Nap által biztosított energiától független, virágzó, mélytengeri ökoszisztémák épülnek. Kiváló élőhelyül szolgálhatnak olyan Naptól távoli, jégréteggel borított óceánokban, mint amelyek a Jupiter Europa holdján vagy a Szaturnusz Enceladus holdján léteznek.

A tudósok a laboratóriumban reprodukálták, hogyan alakulhattak ki az élet összetevői 4 milliárd évvel ezelőtt az óceán mélyén. Az új tanulmány eredményei arra utalnak, hogyan kezdődött az élet a Földön, és hol található a kozmoszban.

Laurie Barge asztrobiológus és csapata a NASA (Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, California) laboratóriumában azon munkálkodik, hogy tanulmányozza az élet eredetét a Földön. Kutatásaik arra összpontosítanak, hogy az élet építőelemei hogyan alakulnak ki az óceán fenekén található hidrotermális szellőzőkben.

A laboratóriumban a hidrotermikus szellőzőnyílások újratereztése érdekében a csapat saját miniatűr tengerfeneket készített, főzőpoharakba töltve a Föld ősi óceánját utánzó keverékeket. Ezek a laboratóriumi óceánok az aminosavak, szerves vegyületek inkubátorként működnek, amelyek nélkülözhetetlenek az élethez, ahogyan mi ismerjük. A Lego-blokkokhoz hasonlóan az aminosavak is egymásra építve fehérjéket képeznek, amelyek minden élőlényt alkotnak.



(forrás: Kép: MARUM / Bremeni Egyetem / NOAA-Pacific Environmental Laboratory, www.pnas.org/content/116/11/4828, Laura M. Barge, Erika Flores, Marc M. Baum, David G. VanderVelde, and Michael J. Russell: Redox and pH gradients drive amino acid synthesis in iron oxyhydroxide mineral systems, PNAS March 12, 2019 116 (11) 4828-4833; first published February 25, 2019; doi.org/10.1073/pnas.1812098116, www.jpl.nasa.gov/news/nasa-study-reproduces-origins-of-life-on-ocean-floor)

A vas-hidroxid kicsapja a tengerfenék üledékét és a hidrotermikus kéményeket. Hidrotermikus folyadék-szimulánsból (piruvátot és NaOH-ot tartalmazó) szimulált hidrotermikus kémény kicsapódik egy korai Föld-óceán szimulációjaként, amely Fe [Fe (II): Fe (III) = 2:1] és ammóniát tartalmaz; fénykép 4 óra után készült.

A Mt. St. Helen vulkánjának legutóbbi kitörésével egy olyan geokémiai esemény játszódott le újra, ami kialakíthatta az életet a Földön.

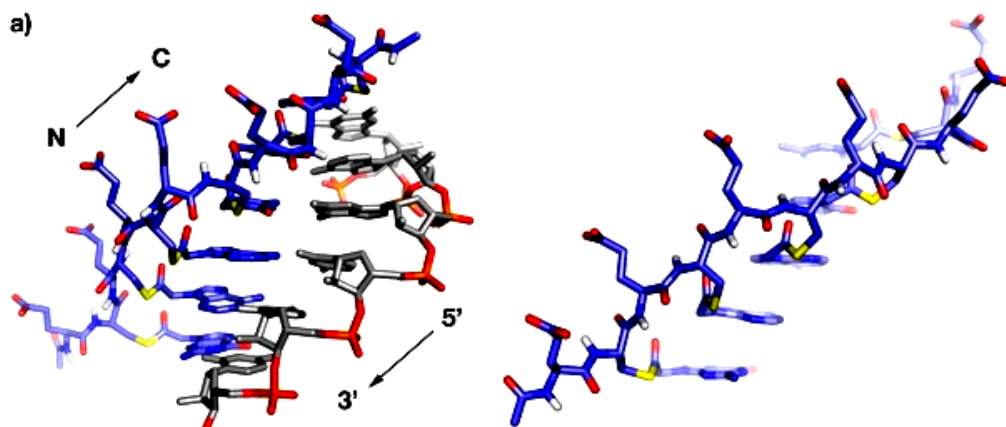


(forrás: www.thehindu.com/sci-tech/science/volcanoes-may-have-kickstarted-life-on-earth/article1561342.ece)

A hamu és a láva mellett a legtöbb vulkán egy mérgező gázt is kiereszt, a karbonil-szulfidot (COS), amiről most sikerült bizonyítani, hogy az aminosavak láncalkotását idézte elő a Föld őslevesében, ezáltal hatalmas lépést tett az első élet felé. „Véleményünk szerint ez a hiányzó láncszem” - írták Reza Gharidi a Scripps Kutató Intézet tudósa és kollégái, Luke Leman és Leslie Orgel a Science magazinban publikált cikkben, amely a felfedezésüket tárja a nagyközönség elé.

A tudósok évek óta próbálják kikalkulálni, hogyan kezdtek kettes és hármas szálakba, úgynevezett peptidekbe összeállni az aminosavak a korai Földön. A lépés azért fontos, mert az általunk ismert élethez nélkülözhetetlen jókora RNS és DNS molekulák felépítéséhez peptidekre van szükség. „Számos módszer van a peptidek előállítására”, azonban a számos módszerből igen kevés lett volna kellőképpen hatékony, vagy valószínűsíthető a Föld őstörténetének közegében.

Reza Ghadiri és munkatársai szobahőmérsékleten egy aminosavakat tartalmazó vizes oldatot tettek ki COS-nak. A kísérlet működött. A COS bőséges peptid mennyiséget állított elő. A kutatók olvasztott fémek, mint például ólom vagy vas a keverékhez adásával még több peptidet nyertek. „Kiprobáltuk óceánvízben és abban is működött, még hozzá meglehetősen hatékonyan” - írták a kutatók.



(forrás: Yasuyuki Ura, John M. Beierle, Luke J. Leman, Leslie E. Orgel, M. Reza Ghadiri, Self-Assembling Sequence-Adaptive Peptide Nucleic Acids, 10.1126/science.1174577, Science 03 Jul 2009: Vol. 325, Issue 5936, pp. 73-77., <https://europepmc.org/article/med/19520909> <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/325/5936/73>)

A laboratóriumban szintetizált önszerveződő molekula hasonlíthat az információt hordozó biológiai anyag legkorábbi formájára, az élettelen vegyi anyagok és az élet komplex genetikai felépítése közötti átmeneti szakaszra. A tio-észterpeptid-nukleinsavak rövidítése tPNA, a molekulák spontán utánozzák a DNS és az RNS alakját, ha összekeverednek. Ha önmagukban maradnak, alakváltoztató szálakba gyűlnek össze, amelyek stabil konfigurációkba morfikálódnak.

A molekulák még nem érték el önreplikációt, az élet végső mércéjét, ám utalnak erre. A legjobb, hogy tevékenységük nem igényel enzimeket - molekulákat, amelyek megkönnyítik a kémiai reakciókat, de még nem léteztek az ősi világban, amelyet az élet homályos eredetére vonatkozó betekintést kereső tudósok modelleztek.

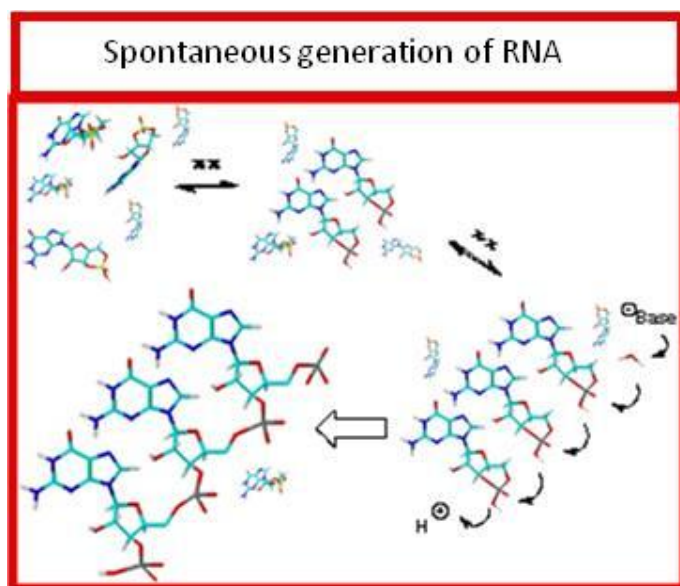
A COS nem csupán megfelel a célnak, de minden okunk megvan azt feltételezni, hogy gyakori volt a Földön a szárazföldi vulkánok közelében, valamint a tengeralatti hidrotermális hasadékoknál is évmilliárdokkal ezelőtt, állítja a korai élet kutatója, George Cody, a Carnegie Intézet munkatársa.

Bár senki sem tudja pontosan milyen volt a Föld amikor ez bekövetkezett, valószínű, hogy az első peptidok akkor alakultak ki, amikor a vulkánkitörésekhez közeli kőzeteken található aminosavak kölcsönhatásba léptek a COS-sal, magyarázták a kutatók. Ez a folyamat a polimerizáció. A kőzetek biztosíthatták a fémeket is, melyek még több peptid létrejöttét segíthették elő.

Olasz kutatók az eddigieknél jóval hosszabb (száz-as nagyságrendű építőelemből, úgynevezett nukleotidból) álló RNS-molekulákat szintetizáltak „kémcsőben”. Egy ilyen hosszúságú RNS-molekuláknak már komolyabb enzimaktivitása is lehetett az élet hajnalán: a legegyszerűbb ismert RNS-enzim pusztán hat nukleotidból, három uracilból és három adeninből áll (UUUAAA).

Az RNS normális esetben egyszerre egy nukleotiddal bővül, úgy növekszik fokozatosan, mint az egymáshoz kapcsolt láncszemekből álló lánc. Noha az RNS növekedése enzimek nélkül is lejátszódik, a folyamat olyan lassú, hogy a keletkező RNS-szál csupán néhány bázis hosszúságú lesz. Ennek oka, hogy amint nukleotidok kapcsolódnak a lánc egyik végéhez, ezzel egy időben könnyen le is törhetnek a szál másik végéről.

Ernesto Di Mauro és munkatársai azt vizsgálták, létezik-e olyan mechanizmus, amellyel le lehetne győzni a termodinamikai akadályt. Rövid RNS-szakaszokat inkubáltak különböző hőmérsékletű és pH-jú vízben. Azt tapasztalták, hogy kedvező körülmények között (savas környezetben és 70 Celsius-foknál alacsonyabb hőmérsékleten) a 10-24 nukleotid hosszúságú RNS-darabkák rendszerint 14 órán belül nagyobb töredékekké egyesültek.



Az RNS-töredékek kétszálú szerkezetekké álltak össze, majd a végük összekapcsolódott. A töredékeknek nem kellett egyforma méretűeknek lenniük, de a reakciók hatékonysága a darabok nagyságától (a nagyobb méret előnyösebb volt, noha a hatékonyság újra csökkent, miután a szál hosszúsága elérte a 100 nukleotidos hosszúságot), valamint a töredékek szekvenciájának hasonlóságától függött.

Giovanna Costanzo, Samanta Pino, Fabiana Ciciriello, Ernesto Di Mauro: Generation of Long RNA Chains in Water, October 2009., Journal of Biological Chemistry 284(48):33206-16, DOI: 10.1074/jbc.M109.041905, www.researchgate.net/publication/26867810_Generation_of_Long_RNA_Chains_in_Water, www.ibpm.cnr.it/index.php?option=com_cnr&view=profile&id=491&lang=en

A JBC (Journal of Biological Chemistry) online kiadásában megjelent cikkükben a kutatók megjegyzik, hogy ez a spontán fúzió vagy ligáció egyszerű módja annak, hogy az RNS leküzdje a növekedés kezdeti akadályait, és biológiailag jelentős méretet érjen el. Nagyjából 100 nukleotidos hosszúság körül ugyanis az RNS-molekulák funkcionális, háromdimenziós alakzatokba kezdenek rendeződni.

Nonenzymatic Polymerization of RNA

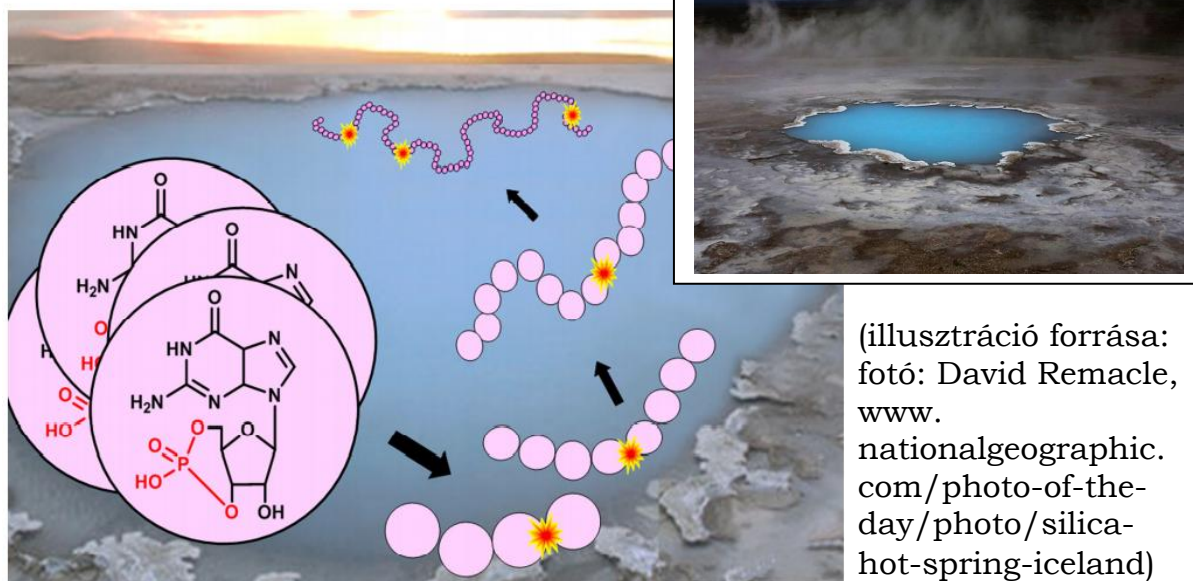


FIGURE 9. Abiotically formed cyclic precursors may actually have started their evolution toward complexity in a warm little pond, as first conceived by Darwin (9).

(illusztráció forrása:
fotó: David Remacle,
www.
nationalgeographic.
com/photo-of-the-
day/photo/silica-
hot-spring-iceland)

(forrás: The American Society for Biochemistry and Molecular Biology, Inc., J Biol Chem. 2009 Nov 27; 284(48): 33206–33216., Published online 2009. Oct 2. doi: 10.1074/jbc.M109.041905, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2785163/, www.jbc.org/article/S0021-9258(20)37757-7/fulltext, és www.researchgate.net/publication/26867810_Generation_of_Long_RNA_Chains_in_Water, www.researchgate.net/figure/Abiotically-formed-cyclic-precursors-may-actually-have-started-their-evolution-toward_fig7_26867810,)

Az ábra azt mutatja, hogy abiotikusan kialakult ciklikus prekurzorok valójában egy meleg kis tóban kezdték meg fejlődésüket a komplexitás felé, amint azt Darwin fogalmazta meg először.

Az RNS láncok képződnek vízben, mérsékelt hőmérsékleten (40-90 ° C), enzimek vagy szerves katalizátorok hiányában.

Darwin azt feltételezte, hogy az élet akkor kezdődött, amikor a sekély, meleg víztavak lehetővé tették az alapvető biomolekulák koncentráció és polimerizációs reakciókat. Sok tudós úgy véli, hogy ha az ilyen tavak bőségben léteztek, vagy hosszú ideig léteztek, lehetséges, hogy az élet egy sor ilyen kémiai reakcióból alakult ki.

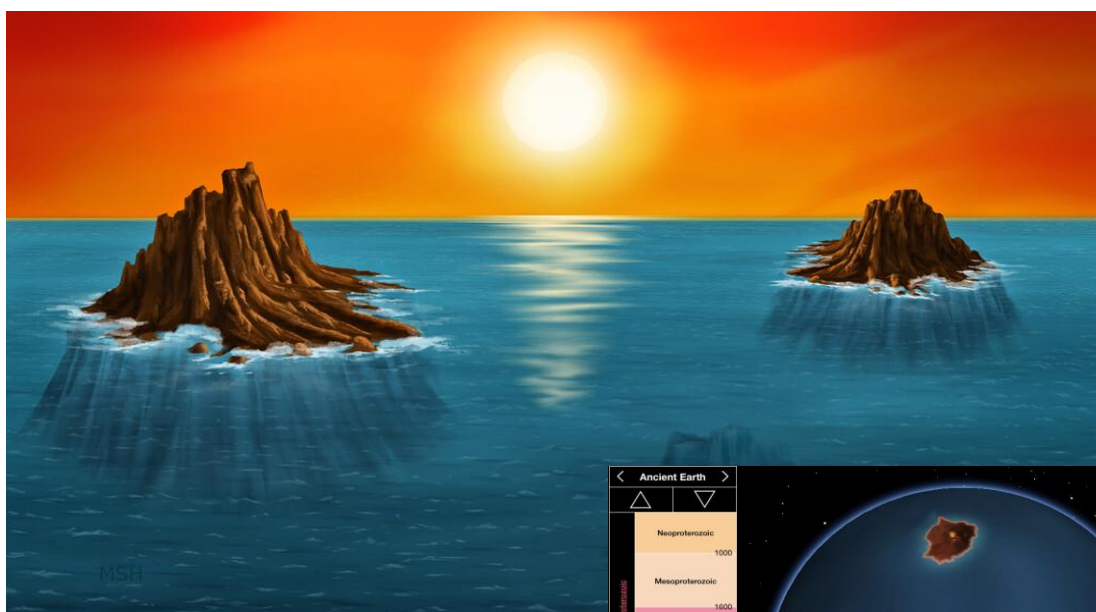
Mégis volt egy probléma az elméletet alkalmazásakor.

A korai Föld egy „vízi világ” volt, amelyet mély óceánok borítottak jóval azelőtt, hogy az első kontinensek a felszínre löktek volna. Egy ilyen világban Darwin sekély, meleg tavai egyszerűen nem léteztek.

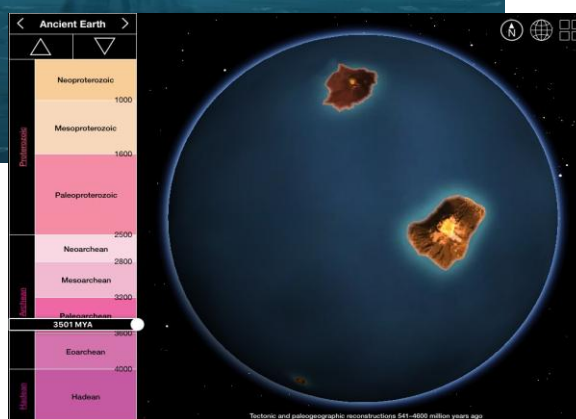
Korenaga és Rosas azt mondják, talán tudják a választ.

A kutatók egy elméleti modellt írtak a Föld tengerfenék archaikum eon alatt valószínű topográfiájára, amely 4 milliárd évvel ezelőtől 2,5 milliárd évvel ezelőtig tartott.

A modell megállapította, hogy, vulkáni szigetláncok és óceáni fennsíkok is maradt a tengerszint felett több száz millió éve.

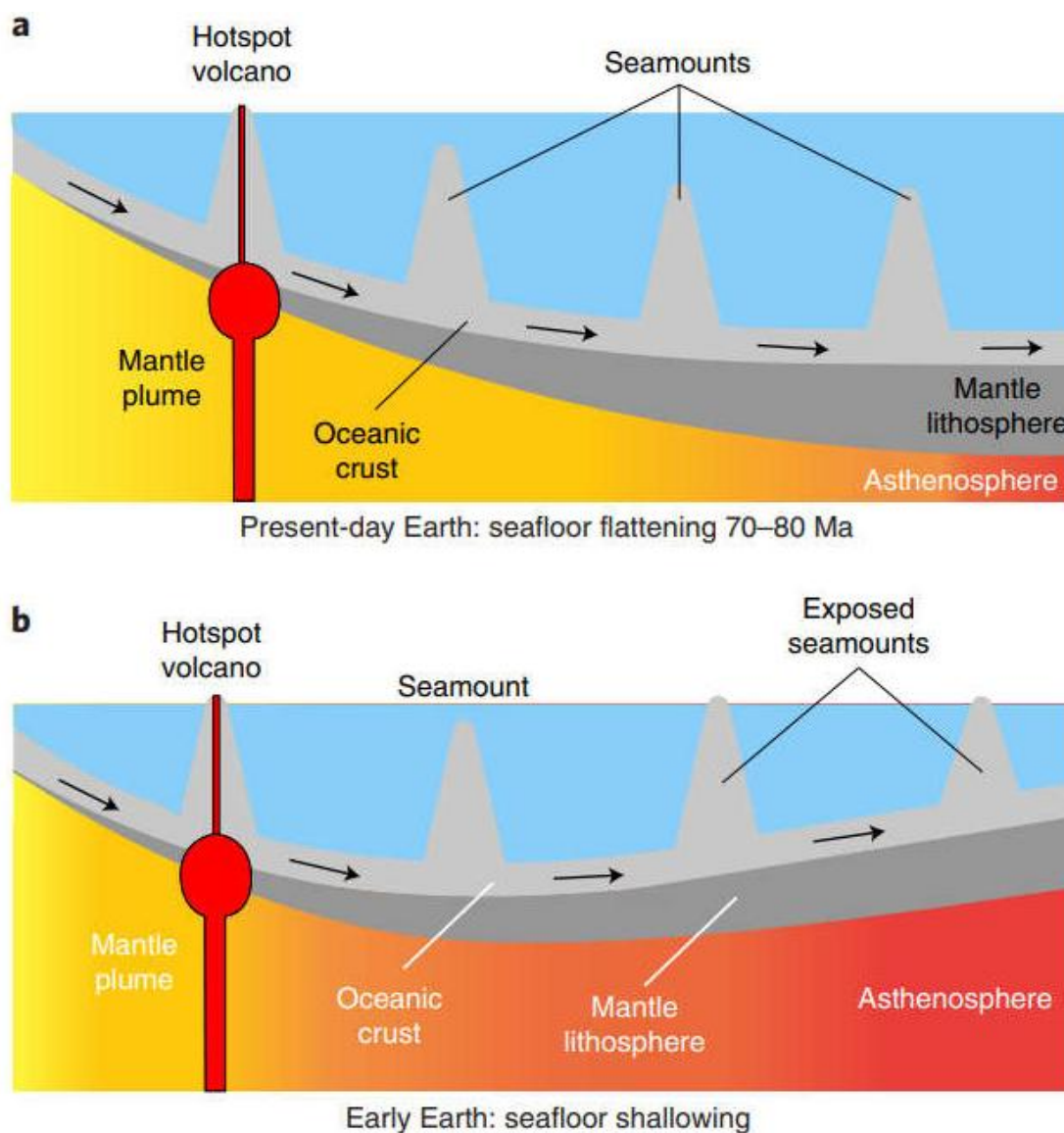


(illusztráció: Michael S. Helfenbein, news.yale.edu/2021/01/04/ancient-earth-may-have-birthed-islands-life?, és www.biointeractive.org/classroom-resources/earthviewer)



A világ óceánjaiból kinyúló szigetek olyan környezeti feltételeket biztosítottak, amelyek szükségesek a korai élet virágzásához.

Jun Korenaga (Yale University) és Juan Carlos Rosas (Ensenada Center for Scientific Research and Higher Education in Mexico) írja le az új elmélet a Nature Geoscience folyóiratban



(forrás: Juan Carlos Rosas, Jun Korenaga: Archaean seafloors shallowed with age due to radiogenic heating in the mantle, Nature Geoscience volume 14, pages 51–56(2021), Published: 04 January 2021., www.nature.com/articles/s41561-020-00673-1, és www.nature.com/articles/s41561-020-00673-1.epdf, és www.iflscience.com/environment/persistent-early-islands-may-have-provided-the-cradles-for-life-on-earth/)

A vulkanikus szigetek evolúciója a tengerfenéken, (a) ahogy ma működik és, (b) a korai Földön, ahol a radioaktivitás a kérget sokkal magasabb hőmérsékletre melegítette.

Rosas és Korenaga megjegyezte, hogy a Föld keletkezésekor több urán volt, mint ma, amelyek nagy része a radioaktív bomlás következtében stabilabb elemeké váltak. Az extra radioaktivitás kétségtelenül több hőt termelt a bolygón belül.

Massachusetts Institute of Technology kutatói azt állapították meg, hogy a szulfitek és biszulfitek nagy koncentrációja a sekély tavakban megalapozhatták a Föld első életformáinak szintetizálását. Munkájuk során azt találták, hogy a szulfid-anionoknak nevezett molekulák csoportja a Föld tavaiban és folyóiban bőségesen lehetett a Föld rori időszakában.



(forrás: Sukrit Ranjan, Zoe R. Todd, John D. Sutherland, Dimitar D. Sasselov: Sulfidic Anion Concentrations on Early Earth for Surficial Origins-of-Life Chemistry Sukrit Ranjan, <https://doi.org/10.1089/ast.2017.1770>, Astrobiology , 2018; DOI: 10.1089 / ast.2017.1770, 1 Aug 2018, www.sciencedaily.com/releases/2018/04/180409103833.htm)
(Fotó: Alba / Fotolia, White Island, Új-Zéland.)

Mintegy 3,9 milliárd évvel ezelőtt a vulkánok kitörése óriási mennyiségű kén-dioxidot bocsátott ki a légkörbe, amely végül vízben oldódott és mint szulfid-anionok - különösen szulfitek és biszulfitek valószínűleg felhalmozódtak a sekély vizekben. Ranjan és munkatársai előzetes munkája azt sugallja, hogy a szulfid-anionok megnövelhették azokat a kémiai reakciókat, amelyek ahhoz szükségesek, hogy nagyon egyszerű prebiotikus molekulákat alakítsanak át az élet genetikai építőelemévé.

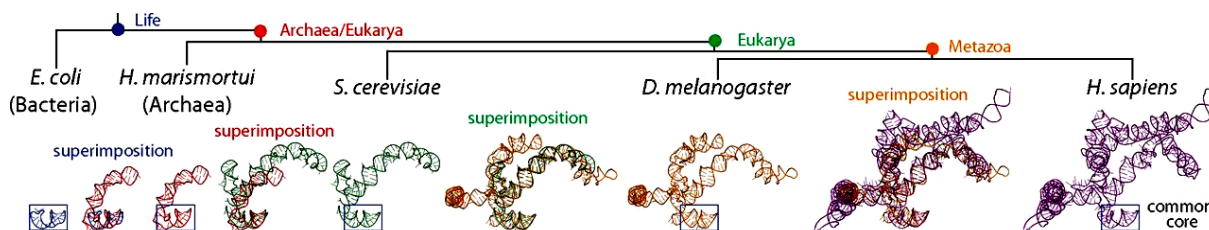
2015-ben a Cambridge Egyetem kémikusai, John Sutherland, a jelenlegi kutatás társszerzője, felfedezték, hogyan lehet az RNS prekurzorokat szintetizálni, csak hidrogén-cianid, hidrogén-szulfid és ultraibolya fény segítségével - ahogy az első életformák megjelenése előtt a Föld korai időszakában lehetett.

Amerikai kutatók minden eddiginél pontosabb és részletesebb képet készítettek több különböző faj riboszómájáról és a riboszómák evolúciójáról. Eredményeikből kiderült, hogy minden riboszóma tartalmaz egy ősi részletet. Ennek vizsgálata segítséget nyújthat az élet eredetének megfejtéséhez.

„A riboszóma története mesél az élet eredetéről is” – írta Loren Williams, a Georgiai Műszaki Intézet kémiai és biokémiai tanszékének professzora, a kutatások vezetője. „Most korábban elérhetetlen részletességgel alkottunk képet a riboszómák eredetéről és evolúciós fejlődéséről.” Az eredmények az amerikai tudományos akadémia folyóiratában (PNAS) jelentek meg.

A biológiában a DNS-ben tárolt információ mRNS-re (hírvivő vagy messenger RNS) íródik át (transzkripció), amely ezután eljut a sejtben lévő riboszómákhoz. A riboszómák valamennyi fajban mRNS-t használnak tervrajzként, hogy felépítsék az élethez nélkülözhetetlen fehérjéket és enzimeket. A riboszómáknak ezt a munkáját hívják lefordításnak (transzláció).

A riboszómák központi magja lényegében megegyezik az összes élőlényben, legyen szó az emberről, az élesztőről, a baktériumokról vagy az archeákról. Az amerikai kutatócsoport kimutatta, hogy ahogy az élő szervezetek fejlődtek az evolúció során, és összetettebbé váltak, úgy váltak összetettebbé a riboszómáik is. De a változás csak a felszínen történt, az emberi riboszóma központi része ugyanolyan, mint a bakteriális riboszóma.



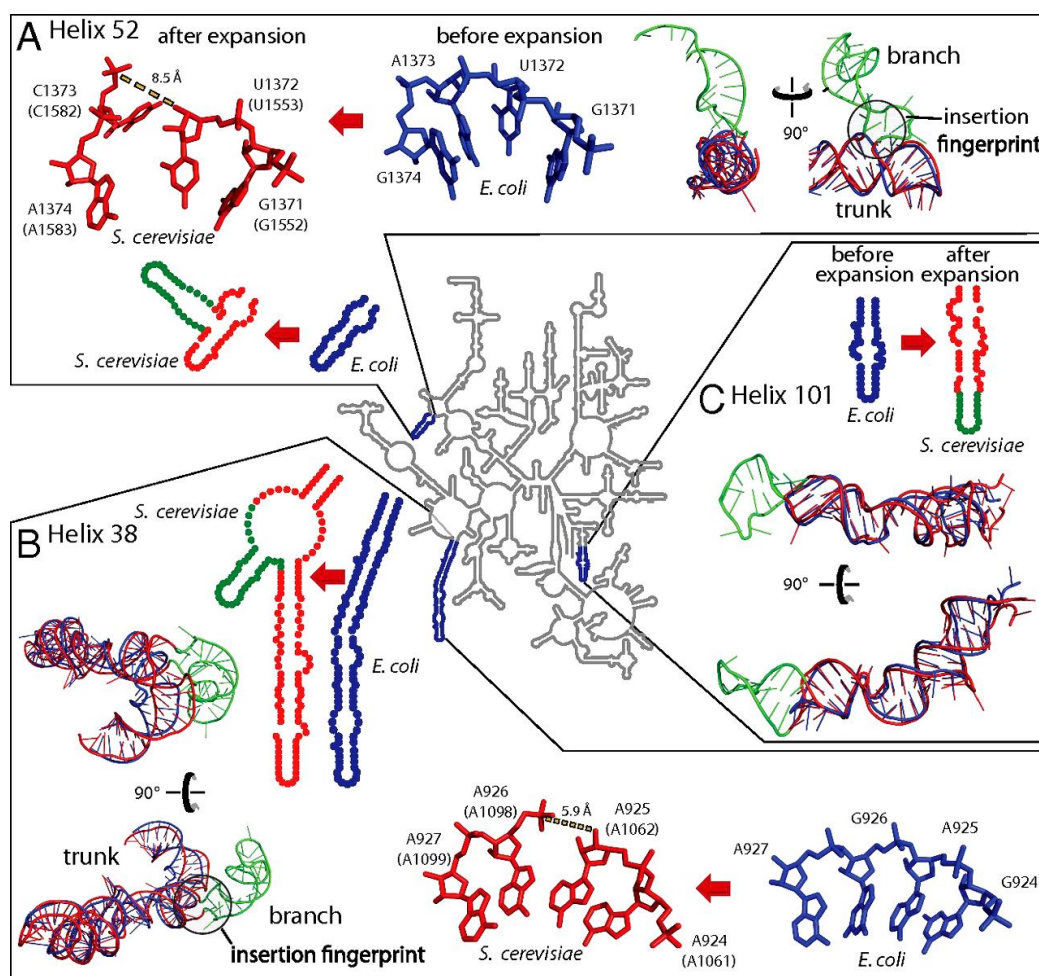
(forrás: Anton S. Petrov, Chad R. Bernier, Chiaolong Hsiao, Ashlyn M. Norris, Nicholas A. Kovacs, Chris C. Waterbury, Victor G. Stepanov, Stephen C. Harvey, George E. Fox, Roger M. Wartell, Nicholas V. Hud, and Loren Dean Williams, Evolution of the ribosome at atomic resolution,

PNAS July 15, 2014 111 (28) 10251-10256; first published June 30, 2014
doi.org/10.1073/pnas.1407205111, www.pnas.org/content/111/28/10251)

Különböző fajok riboszómájának szerkezete. Az ábrán bekeretezve a minden fajban közös mag.

Williams és munkatársai különböző fajba tartozó és eltérő bonyolultságú élőlények (például ember, élesztő, baktériumok és archeák) riboszómáit hasonlították össze.

A kutatók határozott jeleket találtak a riboszómákban, amelyek azt mutatták, hol illesztődtek hozzá új részek a riboszómák felületéhez anélkül, hogy megváltoztatták volna a korábban meglévő magot.



(forrás: <https://www.pnas.org/content/111/28/10251>)

rRNS expanziós elemek két és három dimenzióban. (A) A Helix 52 betéttel bővíthető. (B) A Helix 38 betéttel bővül. (C) A Helix 101-et meghosszabbítással bővítjük. Az LSU közös mag rRNS másodlagos szerkezete, amelyet az *E. coli* (34) képvisel, egy szürke vonal az ábra közepén. Azok a kiválasztott régiók, ahol az *E. coli* rRNS-t kibővítették, hogy *S. cerevisiae* rRNS-t kapjanak, megnőnek. A nagyításokban az rRNS kék az *E. coli* esetében és vörös az *S. cerevisiae* esetében, azzal az eltéréssel, hogy az *S. cerevisiae* rRNS expanziós elemei zöldek. Ezeket a megfigyelt expanziós folyamatokat, a kék rRNS-től a piros / zöld rRNS-ig, piros nyilak jelzik. Az egymásra helyezett pre- és postexpanded rRNS-ek a törzs (rég) és az ág (új) elemeket jelzik. A beszűrési ujjlenyomatokat, ahol a törzs találkozik az ággal, szürke körökkel jelöljük. *E. coli* nukleotidszámokat adunk meg, az *S. cerevisiae* számozását zárójelben.

A riboszómához hozzáadódó kiegészítések illesztési nyomokat hoztak létre. A kutatók számítógépes extrapolációval visszakövetették a folyamatot az időben, és így meg tudták alkotni az egyszerű, ősi riboszómák modelljét. A kutatóknak végül sikerült azonosítaniuk a riboszómáknak azt a részét (magját), amely az „utolsó univerzális közös őstől” (LUCA) eredhet.

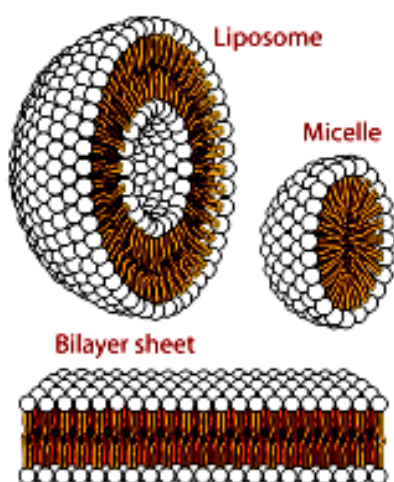
1961-ben kimutatták, hogy ammónium-cianid vizes oldatát hevítve a DNS és RNS egyik alkotóeleme, adenin keletkezik.

Mások arra a következtetésre jutottak, hogy a fagyási hőmérséklet is előnyös a purinbázisok szintéziséhez, mert a prekursorai (mint a hidrogén-cianid) ilyenkor bekonzentrálódnak. A pirimidinbázisok (mint a citozin vagy az uracil) viszont inkább forrásközeli hőmérsékletet igényelnek.

Stanley L. Miller és munkatársai analizáltak egy 1972–1997 között fagyasztóban tartott ammónia- és cianidtartalmú oldatot: hét különböző aminosavat és tizenegyféle nukleobázist találtak benne. Más kutatók többszöri fagyasztás-felolvasztás cikluson átesett, redukzív gázok alatt tartott ureaoldatban adenint, pirimidineket (többek között citozint és uracilt), valamint sz-triazinokat (alternatív nukleobázisokat) mutattak ki.

A fagyasztás során a víz a jégkristályokba tömörül, így az oldat többi összetevője lokálisan bekonzentrálódhat. A korai kísérletekben preferált redukzív atmoszférával szemben ma úgy gondolják, hogy az élet inkább semleges vagy csak gyengén redukáló légkör alatt jöhetett létre. Ez csökkenti a kísérletek során szintetizálódó aminosavak változatosságát, másrészt viszont felvetették, hogy a vas és karbonát jelenléte jótékony hatással lehetett a reakciók során keletkező aminosavak sokféleségére.

Egy 2015-ben közölt kísérletsorozatban a kutatók úgy találták, hogy hidrogén-cianidból és hidrogén-szulfidból kiinduló reakciósorozat ultraibolya fény hatására fehérjék, lipidek és RNS komponenseit produkálta viszonylag kevés melléktermék kíséretében.



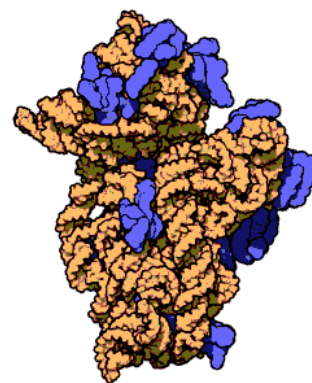
Problémák merültek fel viszont a monomerek polimerré való egyesülésével, legalábbis az „ősleves”-elmélet által sugallt körülmények között. A Miller–Urey-kísérletben például olyan szerves anyagok is keletkeztek viszonylag nagy mennyiségben, amelyek az aminosavakkal reagálva megakadályozzák a polimerizációt. A protosejt önszerveződésű, lipidmembránnal rendelkező struktúra, amelynek létrejöttét létfontosságúnak ítélik az élet kialakulása során. Működőképes protosejteket laboratóriumban egyelőre még nem sikerült előállítani, bár egyes kutatók szerint már közel járunk az áttöréshez.

A protosejtszerű, önszerveződésű vezikulumok már a legprimitívebb mai sejtekben is megtalálhatóak és alapvető fontosságúak a kompartmentalizációs folyamatokban. A sejt működéséhez feltétlenül szükség van ahhoz, hogy elkülönüljön a környezetétől, különben összetevői szétdiffundálnak a környező közegben.

Az RNS-világ elmélete szerint az élet kezdeti szakaszában még csak katalitikus aktivitású, önmásoló RNS-ek léteztek, fehérjék és DNS nélkül.

A hipotézist több, egymástól független bizonyíték támasztja alá, mint például hogy az RNS alapvető a transláció (a genetikai információ fehérjévé való átfordítása) folyamatában és hogy a katalitikus kis RNS-molekulák mindenütt megtalálhatóak, ahol információátvitel történik. A riboszóma működése az egyik legfőbb bizonyíték az elmélet hívei szerint, ugyanis működése alapján az valójában egy ribozim, a peptidkötéseket kialakító aktív centrum közelében nincsenek is aminosav-oldalláncok. Az RNS-világ elméletét először Alexander Rich vetette fel 1962-ben, az elnevezést pedig Walter Gilbert használta elsőként 1986-ban.

A fehérjék feltehetően úgy léptek be a folyamatba, hogy eleinte az RNS-ek rövid peptid-kofaktorokat használtak a megkettőződés folyamán. Az első riboszómák valószínűleg teljes mértékben RNS-ből álltak, bár egyes funkcióikat később fehérjék vették át. Egyelőre még nem tisztázott, milyen szelektív folyamat vezetett a riboszóma evolúciójához, és hogy hogyan alakulhatott ki a genetikai kód.



A *Thermus thermophilus* riboszómájának 30S alegysége. A fehérjék kékek, az RNS narancssárga. (hu.wikipedia.org/wiki/Abiogenezis)

Az RNS-molekulák létrejöttét illetően több hipotézis is létezik. Egészen 1994-ig nem találtak magyarázatot a citozin és uracil nukleotidok abiogén szintézisére, ám azóta több lehetséges módszert is kimutattak; például a különböző ásványi anyagok jelenlétében hevített formamidból mind a négy ribonukleotid (és más biomolekulák) kialakul. Aminosavak oldatának melegítésekor pedig proteinoid mikrogömbök alakulnak ki, amelyek hasonlóan viselkednek, mint a lipidmembránok által közrefogott liposzómák. Bonyolult szerves molekulák szintetizálódhatnak agyag vagy pirit felületén.

Az élet akkor kezdődhetett (bár ez függ attól is, hogyan definiáljuk az életet) amikor az RNS-láncok elkezdtek lemásolni önmagukat és teljesült a darwini szelekció három alapfeltétele: az örökölhetőség, a változatosság és a reprodukció limitáltsága. Az RNS-replikátor hatékonysága (másolatainak száma) a nukleotidszekvenciája által meghatározott alkalmazkodóképességétől és a környezet erőforrásaitól függhetett.

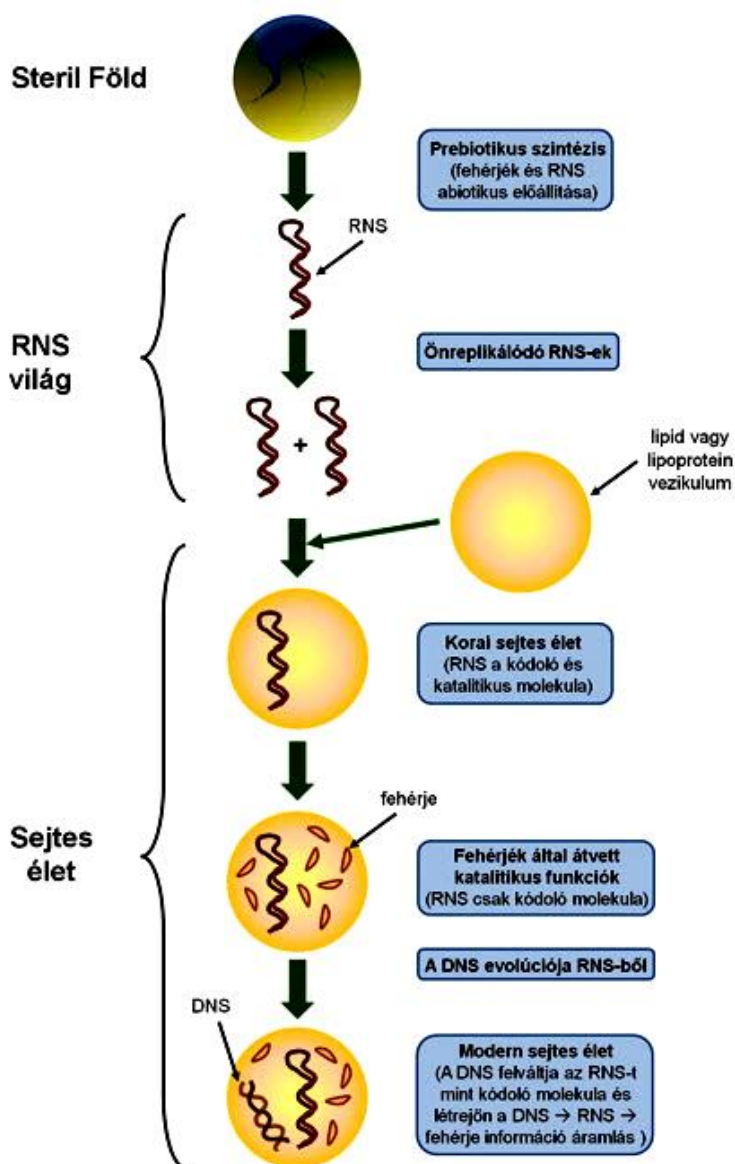
Egyes kutatók úgy vélik, hogy az RNS létrejöttét elősegíti a bór, molibdén és oxigén jelenléte és hogy hasonló feltételek inkább lehettek jelen a Marson, mint a fiatal Földön. A korai replikátorok aztán meteorok közvetítésével juthattak át a Földre.

Az RNS-nél sokkal stabilabb DNS molekulák megjelenésével később az RNS információt raktározó szerepe háttérbe szorult, és kialakult a biológiai információ tárolásának és kifejeződésének hármasszöglete, a DNS-RNS-fehérje molekuláris rendszer.

Egy másik nagyon fontos lépés a biokémiai folyamatokat térben körülhatároló lipidmembrán létrejötte volt. Fehérjemolekulák beágyazódásával a membránba ezek az apró vezikulumok féligáteresztővé váltak, lehetővé téve a különböző tápanyagok bejutását és anyagcsere-termékek kijutását, továbbá az energiakonzerváló folyamatok (ATP szintézis) kialakulását.

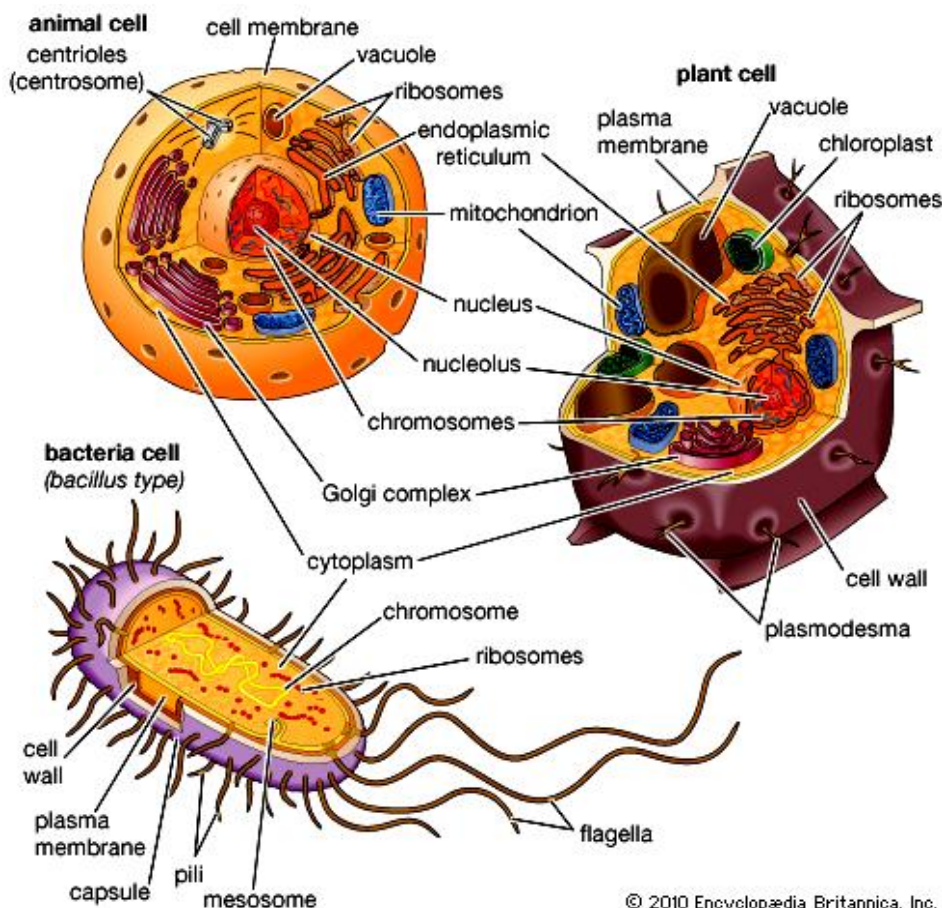
Ahhoz, hogy akár a jelenleg ismert legegyszerűbb élő rendszerben megtalálható bonyolult strukturális és funkcionális eszköztár összehangolt működése létrejöhessen, természetesen az itt vázolt lépések mellett a biokémiai reakciók hatékonyságának és sokféleségének folyamatos fejlődése és tökéletesedése is szükséges volt. A földi élet kialakulásának elméleti lépései.

(forrás:
regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0073_bevezetes_prokariotak_vilagaba/ch02.html)



A gének és operonok megkettőződésével, majd az ezekben bekövetkező evolúciós változások segítségével a fehérjék új funkciókat nyerhettek.

Az egysejtűek sejtje minden életműködés ellátására képes. A növények autotróf élőlények, mert a napfény energiájának hasznosításával, szén-dioxidból és vízből, fotoszintézissel állítják elő az életműködésükhez szükséges szerves anyagokat. Az állatok és a gombák ezzel szemben heterotrófok, azaz a környezetükből származó szerves tápanyagokat hasznosítják.



(forrás: www.slideshare.net/cyrasoreda/cell-components-162519869)

A többsejtűek sejtjei rendszerint eltérő felépítésűek és közöttük működésmegosztás van. A fejlettebb eukarióta élőlényekben a hasonló alakú és működésű sejtek szövetekbe csoportosulnak. A szöveti sejtek már nem az összes működést végző, hanem csupán meghatározott feladatokat ellátó, differenciálódott sejtek.

Az autotróf és a heterotróf anyagcseréjű élőlények sejtjeiben egyaránt nagyon fontosak azok a felépítő folyamatok, amelyekben a fajra, illetve az egyedre jellemző makromolekulák, a nukleinsavak és a fehérjék képződnek. Ezek a vegyületek irányítják ugyanis - közvetve vagy közvetlenül - az anyagcsere-folyamatokat.

Az élő szervezetek meghatározó jelentőségű vegyülete a DNS. Kétfonális molekulaszervezetén alapul a sejten belüli és a sejtről sejtre történő információátadás. A DNS bázissorrendje határozza meg az anyagcsere-folyamatokat közvetlenül irányító fehérjék aminosav-sorrendjét.

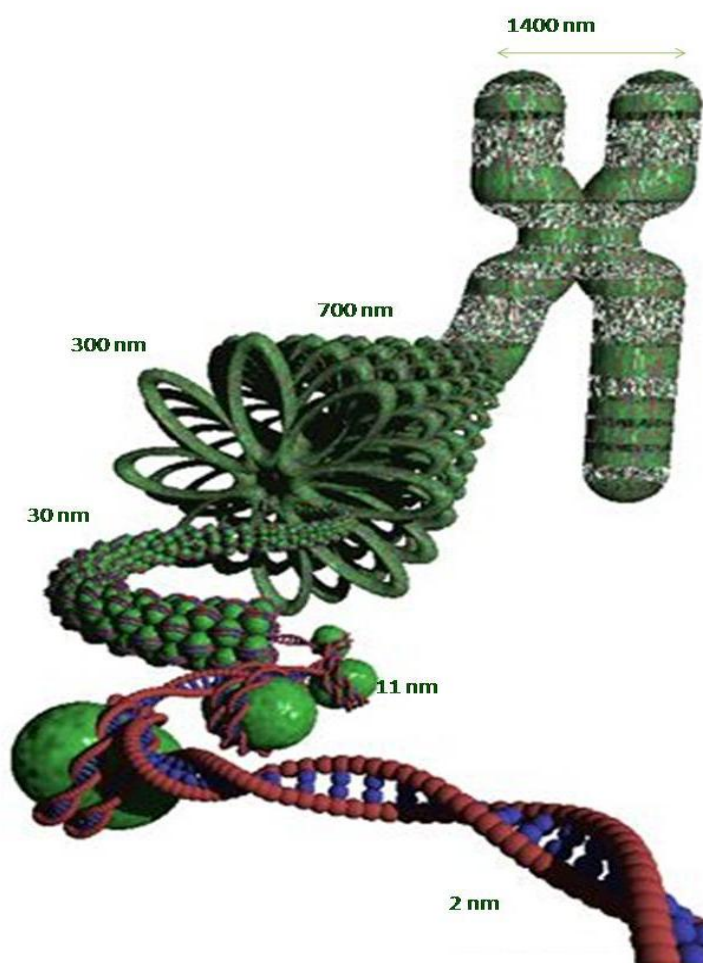
A kettőshélix-szerkezet

pedig lehetővé teszi a DNS-molekulák megkettőződését, így információtartalmuk a sejtosztódás alkalmával átkerül az utódsejtekbe. Az RNS-molekulák közvetítő szerepet töltenek be a sejt belüli információátadásban a DNS és a fehérjék között.

Egyetlen óriási DNS-molekula alkot egy kromoszómát.

(Egy ember testi sejtje 46 kromoszómát hordoz. DNS-fonalak összegzett hossza közel két méter. Ennyi DNS van egyetlen spermiumban, ill. egyetlen petesejtben.)

(forrás: akciospotencial.blog.hu/2007/09/24/mi_is_az_a_genter_kep)



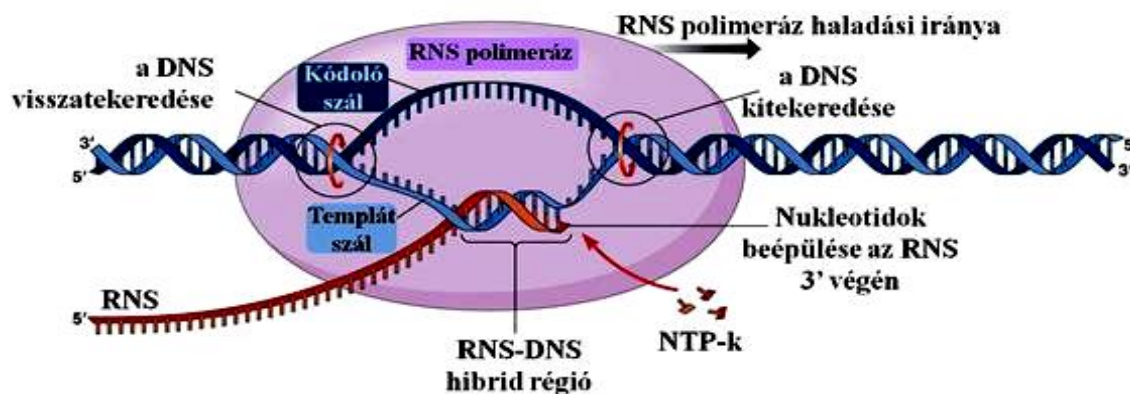
A DNS két szálból álló hélix (csavarvonal). A szálak négyféle nukleotidból felépülő, elágazásmentes polimerek. A polimer építőkövei Adenin, Citozin, Guanin és Timin bázis, vagyis a „kód” betűi: A, C, G, T.

A DNS szintézise a sejtről sejtre történő információátadást, a sejtosztódást előzi meg.

A DNS kettős hélixszerkezete magában hordozza a megkettőződés lehetőségét. Mindkét szál mintaként szolgál egy-egy új polinukleotid-lánc szintéziséhez, és ez - ha az átírás közben nem történik hiba - két teljesen megegyező bázissorrendű kettőshélix kialakulását eredményezi.

Azt a folyamatot, melynek során a génekben őrzött bázissorrend alapján létrejön egy adott fehérjemolekula, átírásnak (transzkripciónak) nevezzük. Első lépésként a DNS -nek az a szakasza, ahol az adott fehérjét kódoló gén helyezkedik el, szétnyílik. A kettényílt DNS -molekula szabad nukleotidokat vonz magához, így kialakul egy szimpla kiegészítő szál, amely azután leválik a DNS -ről. Ezt az új, egyszálú láncot hírvivő RNS -nek, messenger- RNS vagy röviden mRNS -nek nevezik.

Az RNS rövidítés a ribonukleinsav rövidítése, amely egy DNS -hez hasonló molekula, de oldalláncaiban timin helyett uracil (U) van, azaz a négy alkotó bázis nem A, T, G, C, hanem A, U, G, C. Ar uracil minden tekintetben úgy viselkedik, mint a timin, egy dolgot kivéve: a timin kevésbé erősen kötődik az adeninhez, ezért az RNS -szál nem tapad olyan erősen a DNS -szálhoz, amiről másolódik, mint annak kiegészítő párja, ezért a másolás után a visszazipzározódó DNS leszorítja magáról az mRNS.



(forrás: sportszi.unideb.hu/sites/default/files/upload_documents/2._molekularis_biologiai_alapok.pdf)

Mikor a másolás véget ért, a DNS ismét bezárul, feltekeredik és nyugalmi állapotba kerül. Ezalatt az átíródott mRNS molekula a sejt egy adott részébe vándorol, ahol megkezdődik az új fehérje szintézise.

Amikor eléri a biokémiaailag megfelelő környezetet, a génről a hírvívő RNS -be (mRNS) átíródott kodonok sorrendjének megfelelően aminosavak kapcsolódnak egymáshoz. Minden kodonnak egy, pontosan meghatározott aminosav felel meg.

A kodonok párosítatlan bázisai olyan molekulákat vonzanak magukhoz, melyek egyik végén a megfelelő aminosav, a másikon pedig a kodon bázisainak megfelelő, azokhoz kapcsolódni tudó bázisok vannak. Ezeket a molekulákat szállító RNS -nek (transfer- RNS, tRNS) nevezik, mivel az aminosavakat szállítja a fehérje szintézishez. A hírvívő RNS (mRNS) molekulában tehát éppen háromszor annyi szerves bázis van, mint amennyi aminosav a belőle felépülő fehérjét majd alkotja.

Miután az aminosavak a megfelelő sorrendben helyükre kerültek, az új fehérjelánc és a hírvívő RNS (mRNS) elválnak egymástól. (Valójában ez a szétválás folyamatos, pontosabban a fehérje szintézist végző enzimrendszerrel az átíródó fehérje-lánc és a már elolvasott hírvívő RNS (mRNS) kétfelé válva felkunkorodik.)

Miután az új fehérje molekula felépült, némi módosításon esik át, hogy megkezdhesse működését.

Ezek a folyamatok persze rendkívüli sebességgel és precizitással zajlanak a sejtben, akár több millió molekulát termelve percenként.

A megkettőződést irányító enzimek nagyon pontosan dolgoznak, mégis előfordulnak másolási hibák, amikor is az új láncba nem a megfelelő bázis épül be. Ezek jelentős részét a javító enzimek helyreállítják. Kivágják a tévesen beépült bázist és kicserélik.

A javító mechanizmus működése ellenére is maradhatnak hibásan beépült bázisok az új számban. Ez a következő megkettőzésekben báziscserét eredményezi, amely az egyik utódsejtben jelentkezik. Ha a bázissorrend egy génben módosul, az maga után vonhatja a kódolt fehérje aminosav-sorrendjének, ezzel együtt térszerkezetének és működésének a megváltozását. Amikor ez az ivarsejtek képződését megelőző sejtosztódásban következik be, akkor a megváltozott gén átkerülhet az utódba. A DNS szerkezetének ilyen megváltozását mutációnak nevezzük. A mutáció az enzimműködés módosulása miatt új, a szülőktől eltérő tulajdonságok kialakulását eredményezheti az utódokban.



(forrás: tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/biologia/biologia-11-efolyam/a-nukleinsavak-szintezise/a-dns-szintezis)

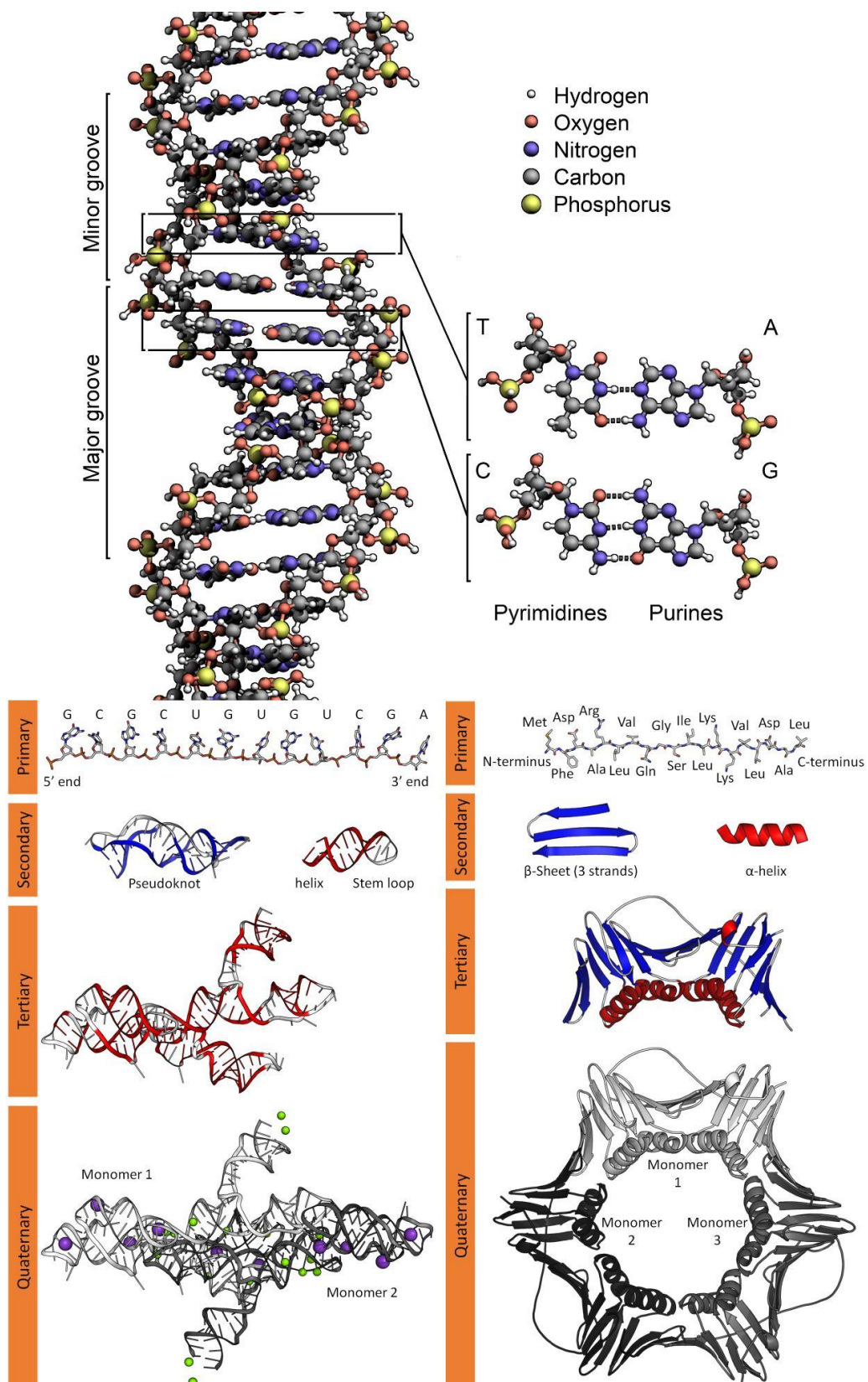
Ily módon egy génnek többféle változata lehet, amelyeket alléloknak nevezünk. Az allélok sokféleségében rejlik az élőlények változatosságának magyarázata vagyis az, hogy egy fajon belül az egyes egyedek nagyon eltérő tulajdonságúak is lehetnek – olvashatjuk részletesebben kifejtve Mándics Dezső-Molnár Katalin „Biológia” című könyvében.

Az evolúció nem más, mint az allélgyakorisági értékek megváltozása a populációban. A folyamat a népesség genetikai összetételének módosulásával, és végső soron új faj kialakulásával végződik.

Az evolúció alapját a mutáció teremti meg. A génmutáció hozza létre azokat az allélváltozatokat, amelyek a populációk genetikai változatosságát adják. A rátermettebb egyedek nagyobb valószínűséggel örökítik alléljaikat a következőnemzedékre, mint kevésbé versenyképes társaik.

Ez a természetes kiválogatódás elmélete, amelyet Charles Robert Darwin (1809-1882) angol természettudós fogalmazott meg először.

„Ezt az elvet, amelynek alapján minden csekély változás, amennyiben hasznos, fennmarad, természetes kiválasztódásnak neveztem, hogy jelezzem hasonlóságát az ember kiválogató képességéhez.”)

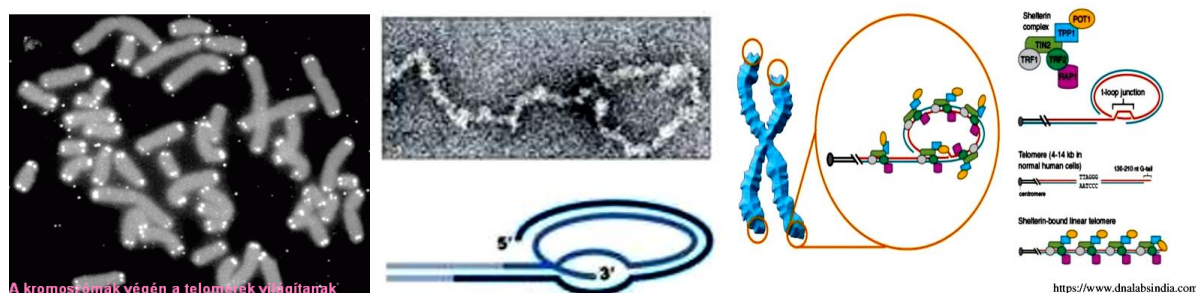


(forrás: Zephyris (Richard Wheeler), mttmuzeum.blog.hu/2017/10/30/a_tyuk_vagy_tojas_problemaja_rns-be_gabalyodva)

DNS, RNS és fehérje szerkezete

A DNS hibátlan replikációja (másolódása) létfontosságú a sejtosztódási folyamatoknál. A kutatóknak sokáig gondot okozott egy látszólagos ellentmondás. A DNS egyik szálának másolása a DNS-szakaszok végén nem tökéletes (a DNS-polimeráz enzim nem tudja lemásolni az utolsó pár bázist), ezért a DNS-ek minden másolódáskor rövidülnek. Ugyanakkor a sejtek kromoszómáinak másolatai az esetek nagy részében mégis hibátlanul kerülnek tovább az utódsejtekbe.

Az 1930-as, 40-es években, Hermann Müller megfigyelte, hogy a besugárzott kromoszómák végein nem következnek be „elváltozások” (deléciók, inverziók), mivel ezeket „sapka” védi, amelyet ő nevezett el „terminális gén”-nek, telomernek.



(forrás: medicalonline.hu/tudomany/cikk/miert_nem_hal_meg_a_raksejt_ és sportsci.unideb.hu/sites/default/files/upload_documents/2._molekularis_biologiai_alapok.pdf és www.slideshare.net/RanjithaKM1/telomere-telomerase-and-aging)

Az 1970-es évek végén Elizabeth Blackburn egy egysejtű csillós szervezet, a *Tetrahymena* kromoszómáinak tanulmányozásakor fölfedezett egy sokszor ismétlődő DNS-szekvenciát (CCCAA) a kromoszómák végén. Ennek a szakasznak a szerepe nem volt világos. Ezzel egy időben Jack Szostak figyelt meg egy lineáris (egyenes) DNS-molekulát, úgynevezett minikromoszómát, amely gyorsan degradálódott, amikor élesztősejtekbe juttatta. Blackburn 1980-ban publikálta eredményeit egy konferencián. Szostaknak fölkellette az érdeklődését, és „rászerelte” ezt a CCCAA „sapkát” a minikromoszómák végére. A sapka megvédte az élesztősejtbe visszajuttatott kromoszómákat a lebomlástól. Ezt a sapkát nevezték el később telomerának.

A telomerák kialakulásának problémáját a sejtben a Blackburn laboratóriumában dolgozó Carol Greider oldotta meg. Fölfedezett egy addig ismeretlen, proteinből és RNS-ből álló enzimet - a telomerázt -, amelyről kiderült, hogy ez szintetizálja a kromoszómákat fedő sapkákat.

2009. év orvosi-életteni Nobel-díjazottját kapták megosztva a telomerák és a telomeráz enzim felfedezéséért és az ezekkel kapcsolatos úttörő kutatásokért.

Ha egy szervezetben megvizsgáljuk a biogén elemek mennyiségi megoszlását, akkor azt tapasztaljuk, hogy a sejtek anyagainak mintegy 99%-át mindössze hat elem építi fel, amelyek a szerves alapvegyületek építőelemei. Ezek a kiemelkedő fontosságú, elsődleges biogén elemek, más néven organogén elemek.

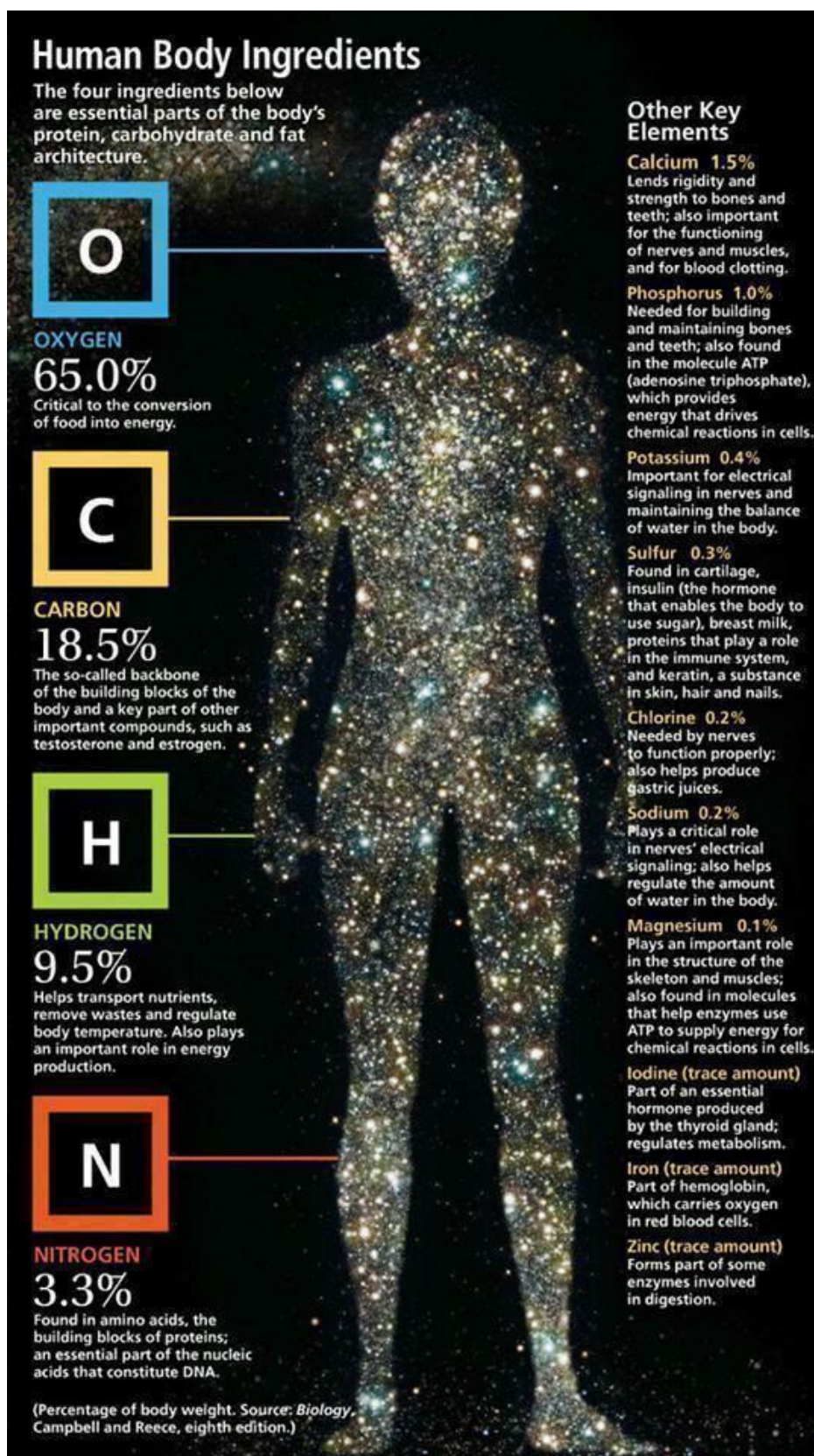
A Föld teljes élővilágának kémiai kiindulópontját a szén (C) -alapú vegyületek adják, illetve a katalizátorként mindenhol megtalálható víz. Az élő sejteket alkotó aminosavakat, nukleotidokat és molekulákat a szén különlegesen sokféle kémiai kapcsolódásai hozzák létre. A fehérjék közé tartoznak az ellenanyagok, az enzimek, a hormonok, a hírvivő fehérjék, a szerkezeti fehérjék és a transzportfehérjék. A fehérjék a nukleinsavak irányításával hajtják végre feladatukat, mivel ezek hordozzák a genetikai információt, de magukat a fehérjéket is nukleinsavak építik fel. Figyelemre méltó tény, hogy a nukleinsavak felépítésében csak öt különféle nukleotid vesz részt (az adenin, a citozin, a guanin, a timin és az uracil), a fehérjékben pedig mindössze húsz különböző aminosavat találunk.

A nitrogén (N) és származékai szintén nélkülözhetetlenek. Az ammónia és a belőle származtatott vegyületek, az aminok (NH_2 -), minden aminosavban megtalálhatók, amelyek azután víz kilépése közben egymással kötést alkothatnak, aminek hatására di- és poli- peptidek, illetve fehérjék keletkeznek.

A kén (S) fontos alkotóeleme egyes aminosavaknak (cisztein, metionin), továbbá a fehérjékben diszulfid kötések hozhat létre, amely révén stabilizálja a protein szerkezetét. Egyes egyszerű élőlények (baktériumok) a kéntartalmú vegyületek oxidációjából és redukációjából nyerik az energiát. A foszfor (P) származékai, mint például a foszforsav (H_3PO_4) a DNS és az RNS építőköve. A már említett biológiai oxidáció során képződik az ATP nevű, foszfor tartalmú vegyület. Energiaraktárként szolgál, minden fejlett földi élőlényben megtalálható.

Hidrogén (H) – Valamennyi élőlény számára nélkülözhetetlen, atomszám-arányát tekintve a legnagyobb mennyiségben előforduló elsődleges biogén elem. A víz alkotójaként jelen van a sejtek alapállományában, valamennyi alapvető szerves molekula építőelemeként a strukturális anyagokban és a legkülönbözőbb működéseket végző és irányító molekulákban egyaránt. Fontos szerepet tölt be a transzport- és energiaforgalom folyamataiban. A hidrogéntartalmú szerves vegyületek elégetésekor a hidrogénatomok oxidációja szolgáltatója a sejtek számára a legtöbb energiát.

Oxigén (O) – A víz alkotó eleme, H_2 szervezeten belüli oxidálása által, az energia termelésben játszik szerepet. A lebontó folyamatok legfontosabb elektronfölvéője (oxidációs folyamat). Ezért a legtöbb élőlény elemi állapotban is hasznosítja.



(forrás: www.quora.com/Are-humans-made-of-cells-or-atoms és <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-7783601fffc2f209b2cea5e453a5defa.webp>)

Mintegy 1,5–2%-os mennyiségben képezik az élő szervezetek anyagait a másodlagos biogén elemek atomjai, melyek például az idegrendszer működésében vesznek részt. Ezek a nátrium (Na), a kálium (K), a kalcium (Ca), a magnézium (Mg) és a klór (Cl). Ezek ionos állapotukban található meg. Az elsődleges és a másodlagos biogén elemeket együtt az élő anyag makroelemeinek is szokták nevezni.

Mindössze néhány ezrelékben (mikrogrammnyi mennyiségben) fordulnak elő az élő szervezetekben a mikroelemek (harmadlagos biogén elemek). Ennek ellenére nélkülözhetetlenek, hiszen legtöbbjük az életfolyamatokhoz szükséges makromolekulák egy-egy alkotója. Hiányuk esetén a sejtek képtelenek felépíteni egy sor fontos vegyületet: Mangán (Mn), Vas (Fe), Kobalt (Co), Réz (Cu), Cink (Zn), Molibdén (Mo), Jód (I).

A jód az alacsonyabb rendű növények közül a barnamoszatok légzését fokozza, a magasabb rendű növények számára növekedést stimuláló hatású. Egyes vörös- és kovamoszatok (diatómák), főképpen azonban a barnamoszatok nagy mennyiségben vonnak ki jódot a tengervízből.

A nyomelemek (negyedleges biogén elemek) csoportjába tartoznak azok az elemek, amelyek nem minden élőlénynek számítanak létszükségletnek, csak bizonyos fajok számára: Bór (B), Fluor (F), Szilícium (Si), Titán (Ti), Vanádium (V), Króm (Cr), Nikkel (Ni), Szelén (Se), Bróm (Br), Ón (Sn). A szilícium egyes kovamoszatokban, zsurlókban, illetve szivacsokban található meg jelentős mennyiségben.

ELEMENTS OF THE HUMAN BODY

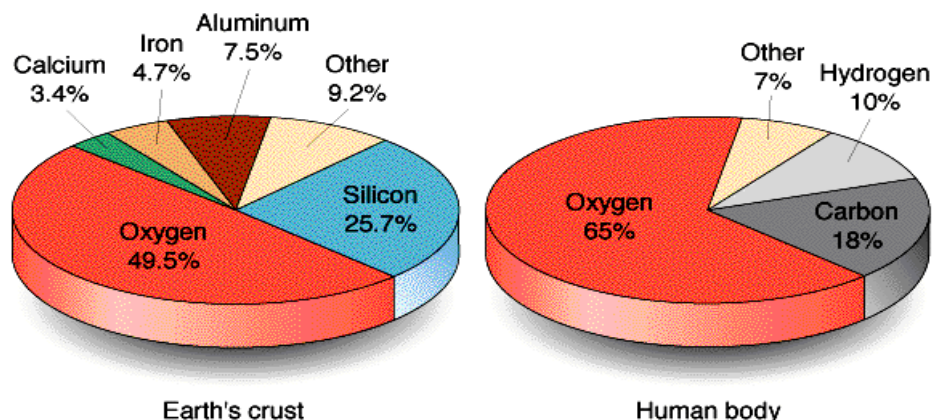
Mass Fraction = 10 Color

1 H Hydrogen 1×10^{-1}	2 He Helium											10 Ne Neon	18 Ar Argon	36 Kr Krypton	54 Xe Xenon	86 Rn Radon																		
3 Li Lithium 3.1×10^{-8}	4 Be Beryllium	5 B Boron 9.80×10^{-7}	6 C Carbon 1.8×10^{-1}	7 N Nitrogen 3×10^{-2}	8 O Oxygen 8.5×10^{-1}	9 F Fluorine 3.2×10^{-5}	11 Na Sodium 1.5×10^{-5}	12 Mg Magnesium 5.00×10^{-5}	13 Al Aluminum 8.70×10^{-5}	14 Si Silicon 2×10^{-5}	15 P Phosphorus 1.1×10^{-2}	16 S Sulfur 2.5×10^{-3}	17 Cl Chlorine 1.5×10^{-3}	19 K Potassium 2×10^{-3}	20 Ca Calcium 1.4×10^{-2}	21 Sc Scandium	22 Ti Titanium 1.30×10^{-7}	23 V Vanadium 2.80×10^{-7}	24 Cr Chromium 2.4×10^{-8}	25 Mn Manganese 2.4×10^{-7}	26 Fe Iron 8×10^{-5}	27 Co Cobalt 2.1×10^{-8}	28 Ni Nickel 1.40×10^{-5}	29 Cu Copper 1×10^{-8}	30 Zn Zinc 3.2×10^{-5}	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic 2.80×10^{-7}	34 Se Selenium 1.80×10^{-7}	35 Br Bromine 2.8×10^{-8}				
37 Rb Rubidium 4.6×10^{-6}	38 Sr Strontium 4.6×10^{-6}	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium 6×10^{-8}	41 Nb Niobium 1.6×10^{-8}	42 Mo Molybdenum 1.50×10^{-7}	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silver 1.0×10^{-8}	48 Cd Cadmium 7.20×10^{-7}	49 In Indium	50 Sn Tin 2.40×10^{-7}	51 Sb Antimony 1.10×10^{-7}	52 Te Tellurium 1.20×10^{-7}	53 I Iodine 1.60×10^{-7}	55 Cs Cesium 2.1×10^{-8}	56 Ba Barium 3.10×10^{-7}	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold 3×10^{-9}	80 Hg Mercury 1.80×10^{-7}	81 Tl Thallium	82 Pb Lead 1.7×10^{-8}	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tennessine	118 Og Oganesson																	
57 La Lanthanum 1.37×10^{-6}	58 Ce Cerium 6.70×10^{-7}	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium																				
89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium																				

(forrás: sciencenotes.org/elements-in-the-human-body-and-what-they-do/)

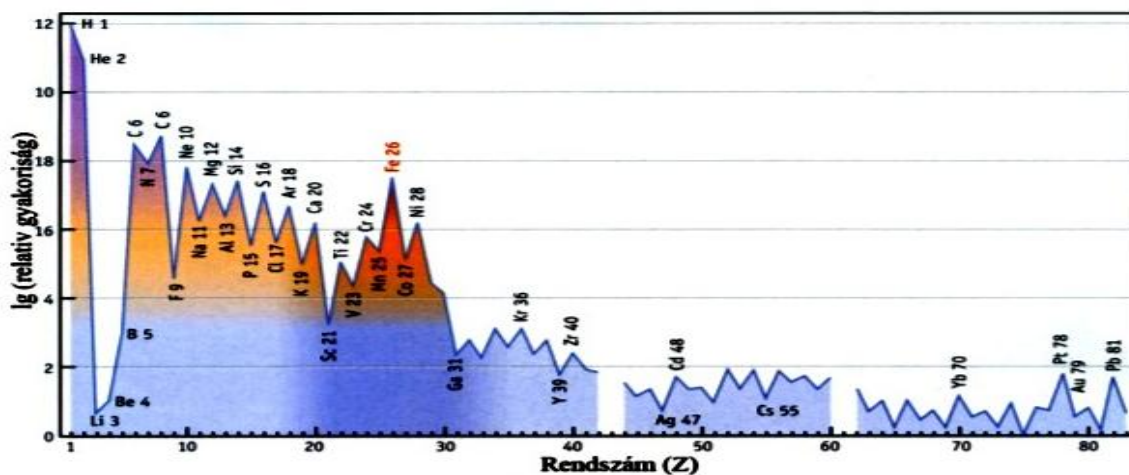
A legfontosabb biogén elemek helye a periódusos rendszerben.

Az élőlényekben nem található egyetlen olyan elem sem, mely ne lenne meg az élettelen természetben is, legfeljebb az előfordulás arányában van különbség.



(forrás: mudassirrizwan.wordpress.com/2014/02/12/what-are-the-elements-in-the-human-body/)

A periódusos rendszerben való elhelyezkedésükből megállapítható, hogy az élő rendszert a kisebb atomtömegű elemek alkotják, sőt a nehezebb elemek gyakran károsak, mérgezőek (pl. higany- és ólommérgezés). Az élő rendszer kialakulása idején valószínűleg a kisebb atomtömegű, egyúttal stabilabb elemek voltak többségben, melyek így a kialakuló molekulák felépítőivé váltak.



22. ábra: Kozmikus elemgyakoriság

(astro.u-szeged.hu/szakdolgozat/nagyandrea_szdBSc/NagyAndrea_szd.pdf)

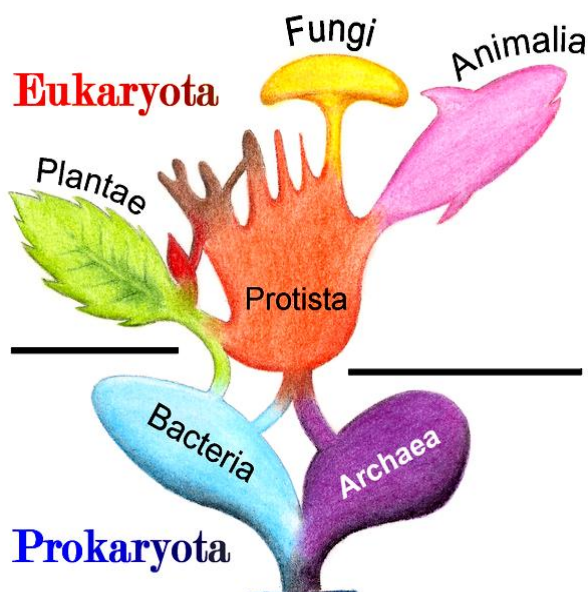
A Földön természetes állapotban 92 elem fordul elő. Az élőlényekben ebből a 92-ből csak 11 található meg nyomnyinál nagyobb mennyiségben. Nyomnyi mennyiségnek nevezzük a 0,01% vagy ennél kevesebb mennyiséget. Azok az elemek, amik csak ilyen kis mennyiségben vannak a szervezetben a nyomelemek. Az emlősökben, és így az emberekben is még két elem fordul elő nagyobb arányban, ezek a jód és a vas.

Általánosan elfogadott, hogy az első élő sejtek ősi prokarióták lehettek. 3,5 milliárd éves prokarióta fossziliákat is találtak, és a prokarióták még ma is valószínűleg a legsikeresebb és legnagyobb számban élő szervezetek. Jelenleg a Föld a prokarióták egyetlen ismert élőhelye, Bár néhány kutató azt állítja, hogy egy marsi meteorit belsejében levő bizonyos alakzatok prokarióták fossziliáiként értelmezhetők, ám ez még nem bizonyított. Méretük mikronos nagyságrendű, tehát fénymikroszkóppal tanulmányozhatók.

A **prokarióták**, más néven elősejtmagosok vagy sejtmag nélküli egysejtűek (Prokaryota vagy Monera) egysejtű – ritka esetekben többsejtű –, körülhatárolt sejtmag nélküli élőlények.

Ezek az ismert legősibb sejtes felépítést mutató szervezetek, és a legegyszerűbbek is; mivel az a rendkívül differenciált belső membránrendszer, amely az eukarióták sajátja és azok fejlett sejtszervecskét alkotja, a prokariótákban csak nagyon kezdetleges módon található meg.

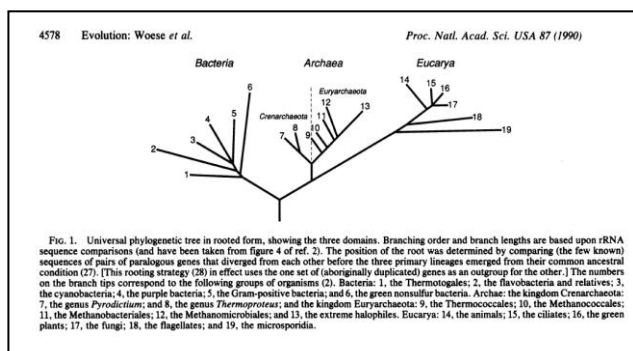
(forrás: timetrek.aikavaellus.fi/timetravel/2200/)



A prokarióta név a görög prósz (előtt) és karyon (mag) szavak összetételével jött létre, jelentése tehát „sejtmag előtti”.

1977-ben Carl Richard Woese (1928–2012), amerikai mikrobiológus, az Illinois-Urbana Egyetem (University of Illinois-Champaign-Urbana) professzora a riboszomális RNS-analízis alapján azonosította az élő szervezetek egy új csoportját, az ősbaktériumokat, azaz az archeákat.

(forrás. Woese C, Kandler O, Wheelis M (1990.). „Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya”. Proc Natl Acad Sci U S A 87 (12), 4576–79. o. PMID 2112744.)



Carl Richard Woese amerikai mikrobiológus, az Illinois-Urbana Egyetem professzora érvelése szerint a baktériumok, archeák és az eukarióták képviselik a viszonylag fejletlen genetikai apparátussal felszerelt ősi élőlénynek (progenótának) az elsődleges leszármazási vonalát. Ez az elmélet tükröződik vissza az Archaea elnevezésben is, ami a görög ősi szóból származik. Az őznek az ötlete még nem általánosan támogatott.

Néhány biológus úgy véli, hogy az archeák és az eukarióták őse egy módosult baktérium lehetett.

(a) A five-kingdom system



(b) A three-domain system

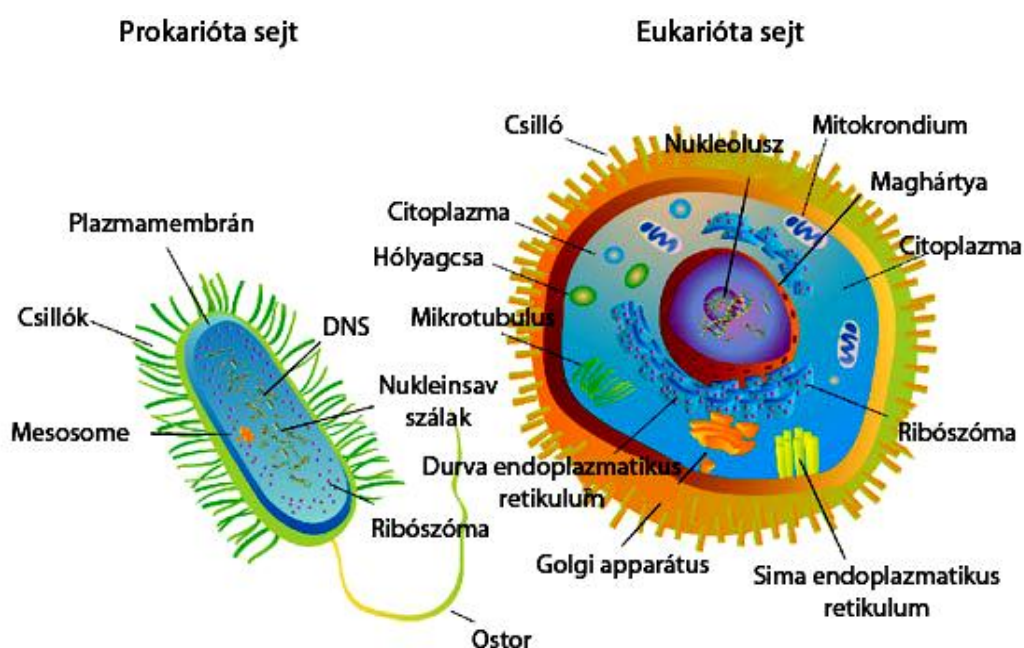
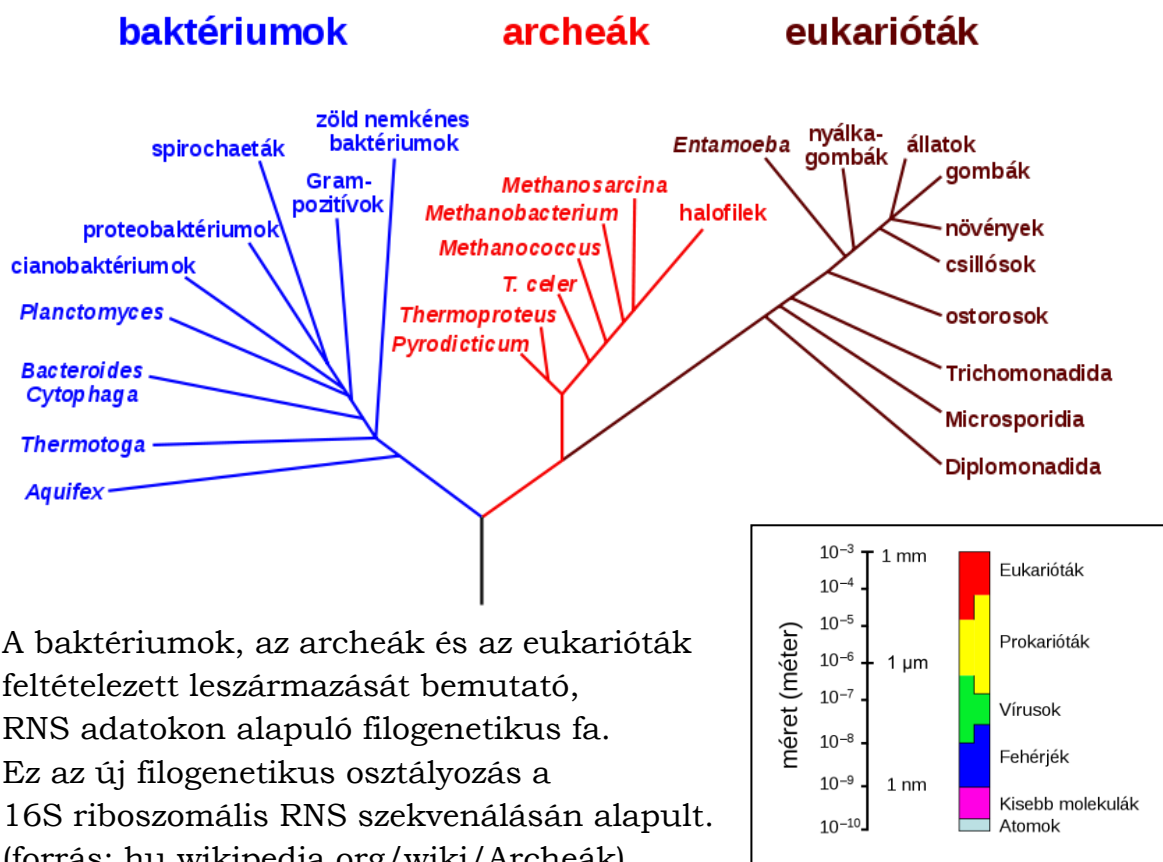


©1999 Addison Wesley Longman, Inc.

(forrás: Academic Support Center, Daytona State College, PROKARYOTES, <https://daytonastate.edu/asc/files/science52.pdf>)

Mások úgy gondolják, hogy az eukarióta sejt egy baktérium és egy archea összeolvadásából jött létre (ezáltal keletkezett a sejtmag és a citoplazma), ami magyarázhatná a változatos genetikai hasonlóságot, de az elmélettel problémás magyarázni a sejtstruktúrát.

A legújabb rendszertani osztályozás a prokariótákon belül az élőlények két nagy doménjét vagy birodalmát különíti el: az archeákat („ősbaktériumok”) és a baktériumokat. Az élőlények harmadik nagy doménjét az eukarióták alkotják.



(forrás: https://www.webbeteg.hu/mediatar/genetikai_betegseg/155/prokariota-es-az-eukariota-sejt)

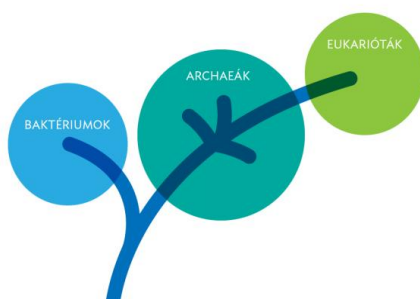
A tudomány mai állása szerint az élet fájának első elágazása egyik oldalon a baktériumokat, másik oldalon az archeákat és az eukariótákat eredményezte. Ezt az elágazást közvetlenül követte az archeák és eukarióták különválása.



(forrás: mta.hu/tudomany_hirei/birodalmak-visszavagva-az-elte-es-a-bristoli-egyetem-kozos-sikere-legkorabbi-oseink-kutatasaban-110182)

A háromdoménes elmélet törzsfája

Szöllősi Gergely, az MTA-ELTE Lendület Evolúciós Genomika Kutatócsoport vezetője és Tom Williams, a Bristol Egyetem kutatója által irányított nemzetközi kutatócsoport döntő jelentőségű genetikai bizonyítékot talált egy másik elméletre, amely szerint az eukarióták az archeákból származnak, így csak két domén létezik. Tanulmányuk a Nature társlapjában 2019. december 9-én jelent meg. (Tom A. Williams, Cymon J. Cox, Peter G. Foster, Gergely J. Szöllősi & T. Martin Embley: Phylogenomics provides robust support for a two-domains tree of life, Nature Ecology & Evolution volume 4, pages 138–147 (2020), doi.org/10.6084/m9.figshare.8950859.v2, www.nature.com/articles/s41559-019-1040-x,



(forrás: mta.hu/tudomany_hirei/birodalmak-visszavagva-az-elte-es-a-bristoli-egyetem-kozos-sikere-legkorabbi-oseink-kutatasaban-110182)

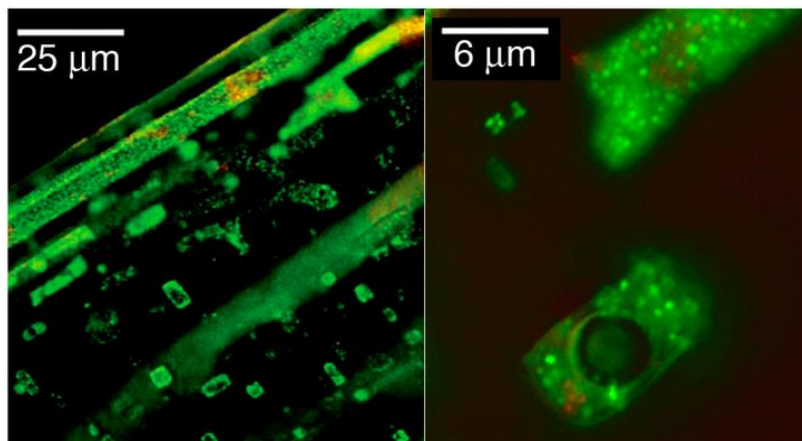
A kétdoménes elmélet törzsfája

A baktériumoknál is ősibb létformáknak azonosította tudomány és archeobaktériumoknak is nevezték a hasonóság alapján, mivel nincsen sejtmagjuk (vagyis prokarióták), és legtöbbjük sejthalakja is a baktériumokra emlékeztet.

A fehérjeszintetizáló apparatusuk alapján azonban az eukariótákhoz állnak közelebb. A sejthártyájuk pedig teljesen egyedi. Jelenleg olyan környezetekben fordul elő többségük, amelyek az élőlény túlnyomó többsége számára élhetetlen. Egyes fajaik fémionokat, hidrogént, sókat képesek hasznosítani táplálékként, és szélsőséges környezeti feltételek között is megtalálhatóak.

Az utóbbi években egyre gyűltek azok az adatok, amelyek arra utaltak, hogy az eukarióta leszármazási ág, ami magába foglalja a zöldmoszatoktól a kék bálnáig az összes komplex többsejtűt, köztük az embert is, az archeák közül származik.

A kutatás során több mint 3000 géncsalád leszármazási adatait elemezték, olvasható az MTA honlapján. Az eredmények megerősítették a kétdoménos elméletet. A kutatás nemcsak a rendszerezés alapvető kategóriáit borítja föl, de az eukarióta sejt eredetének megértéséhez is sokkal közelebb visz minket.



(fotó: Stan-Lotter & Fendrihan, 2015 / Life)

Zöldre festett
Halobacterium sejtek.
A Halobacteriumok
nevük ellenére archeák

Arról ma már konszenzus van, hogy a valódi sejttaggal és különféle sejtszervecskékkel rendelkező eukarióta sejtek úgy alakultak ki, hogy valamiféle őssejt befogadott egy baktériumot, a ma minden eukarióta sejt parányi erőműveként működő mitokondrium őseit, és együtt alakították ki a biológiai komplexitás ma ismert sokszínűségét.

A mostani kutatás erősen valószínűsíti, hogy a proto-eukarióta sejt egy archea volt, amelyben már számos olyan gén őse ott volt, amelyek később az eukarióta sejtekben is működtek és fennmaradtak.

Az élővilágában két alapvető típusú sejt, prokarióta és eukarióta sejt létezik.

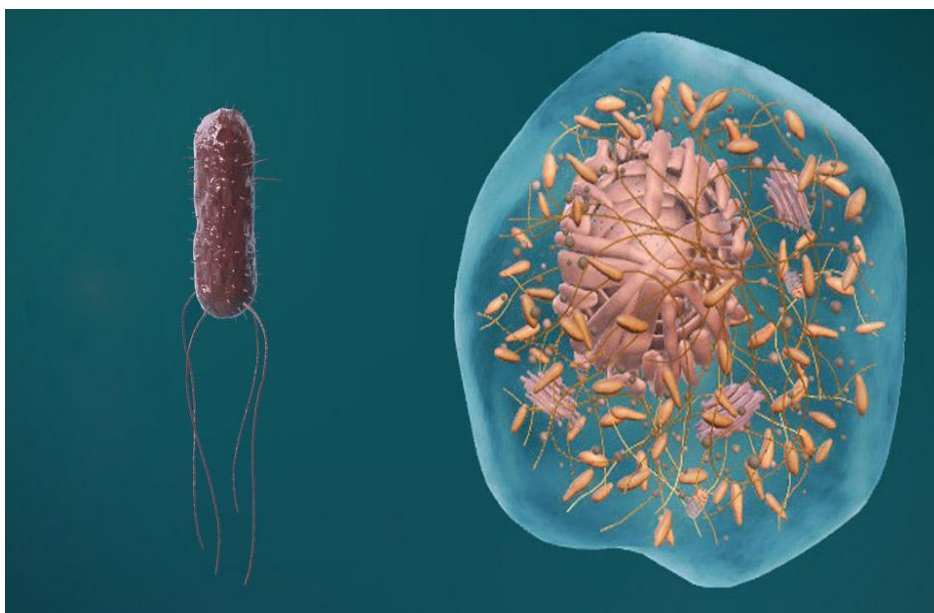
Az eukarióták sejt plazmájában jól körülhatárolt sejttag található, emellett számos egyéb sejtalkotó is csak erre a sejt típusra jellemző. A sejt plazma magas víztartalmú, kocsonyás anyag, a sejtben lévő terek elhatárolására biológiai membránok szolgálnak. A biológiai membránokat lipid kettősréteg alkotja, melyhez fehérjemolekulák is kapcsolódnak. A sejt plazmát kívülről borító membrán a sejthártya.

A **prokarióták** sejtszerkezetük sok tekintetben eltér az eukariótákétól. A legfontosabb eltérés a sejttag vagy sejttaghártya hiánya. Ezenkívül belső vázrendszerük (citoszkeleton) és membránnal körülhatárolt egyéb sejtalkotóik sincsenek (például vakuólumok, endoplazmatikus retikulum, mitokondriumok, szintestek), viszont riboszómákkal rendelkeznek. Van sejtfaluk, ellentétben egyes eukariótákkal (főleg az állatokkal).

Anyagcsereflowamataik a sejthártyán keresztül zajlanak.

Egyetlen, kör (vagy kivételesen ritka esetben, például a *Borrelia burgdorferi* fajnál egyenes) alakú, haploid kromoszómájuk van, mely a nukleoidot (maganyag) képezi. A sejt többi részében ezen kívül apró, kör alakú DNS-darabok is lehetnek.

Bár majdnem mindig egysejtűek, sejtcsoportokat, telepeket is létrehozhatnak, melyeket az osztódás után együttmaradt sejtek alkotnak. Ezeket a sejtek által kiválasztott nyálkaréteg is összetarthatja. A telep tagjai azonban nem differenciálódott sejtek, teljesen egyformák, és önálló életre is képesek.



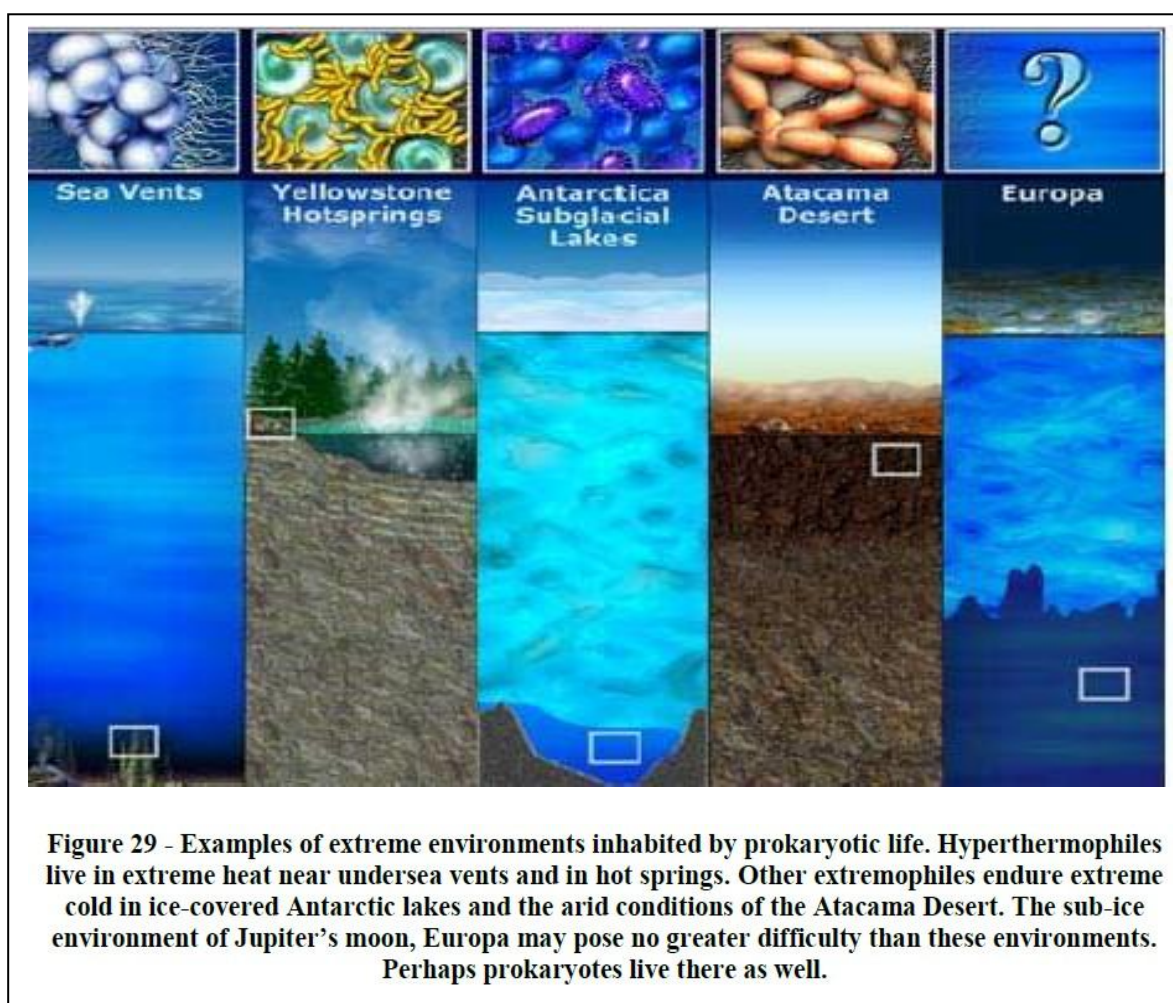
(forrás:
www.mozaweb.hu/Extra-3D_modellek-A_prokariota_es_az_eukariota_sejtek_felepites-353133)

Mióta az első prokarióták létrejöttek, számos változáson mentek keresztül. Anyagcseréjük sokkal változatosabb, mint az eukariótáké, ezért sok erősen elkülönült típusuk létezik. Például amellet, hogy fotoszintézissel vagy szerves szénforrások felhasználásával nyernek energiát, mint az eukarióták (fotoauto- vagy heterotrófia), a prokarióták szervesanyagokat is felhasználhatnak energiaforrásként, mint például a hidrogén-szulfidot (kemoautotrófia). A szerves anyaggal táplálkozó prokarióták – mivel nincs náluk kisebb élőlény – elhalt szervesanyagdarabokkal táplálkoznak (szaprofitizmus). Sok olyan különleges anyagcsereutat megőriztek, amelyekre a magasabb rendű élőlények nem képesek, például képesek cellulózbontásra, légköri nitrogént tudnak megkötni. Sok eukarióta szervezet igénybe veszi a prokarióták ilyen tulajdonságait, és kellemes környezetben elszaporítja őket. Ez a kölcsönösen előnyös együttélés, a szimbiózis. Sőt, az úgynevezett endoszimbionta-elmélet (EST) szerint az eukarióták membránnal határolt sejtszervecskéi közül egyik-másik (például a mitokondriumok, szintestek) az eukarióta sejtrel szimbiózisban élő prokarióta sejtekből alakult ki, redukálódott.

Általában ivartalanul, egyszerű osztódással, hasadással szaporodnak.

A prokariótákra jellemző a spóráképzés, mely a kedvezőtlen körülmények átvészelésére szolgál. Az életfeltételek romlásakor a sejt belsejében az örökítőanyag és egy kevés sejt plazma nagyon ellenálló, vastag sejtfallal burkolózik be, a sejt pedig elpusztul körülötte. Az így létrejött spóra az órákig tartó főzést, sőt, rövid ideig a világűr körülményeit is képes elviselni. Megfelelő körülmények között a spórából újra sejt lesz, majd az elszaporodik.

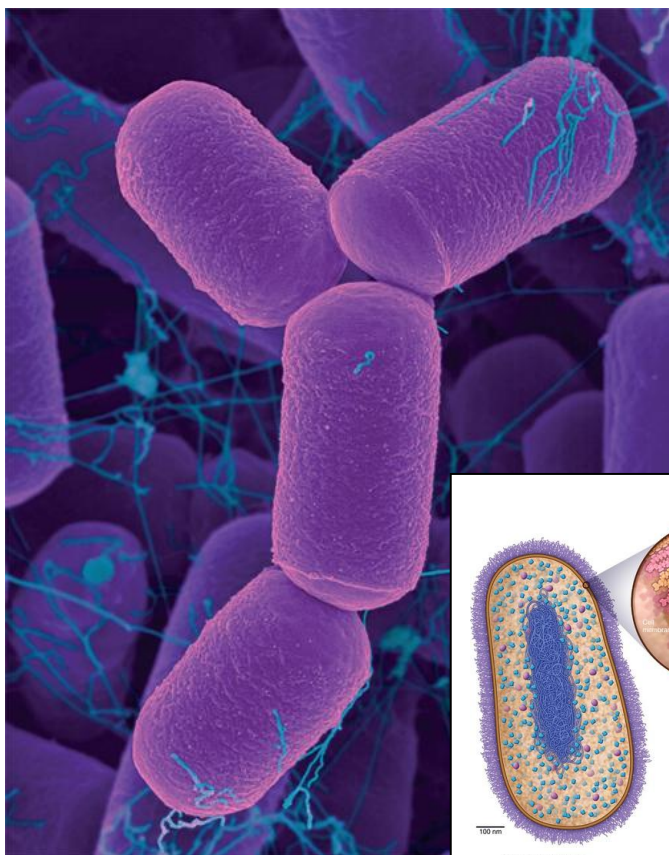
A Földön szinte minden környezetben előfordulnak, a legszélsőségesebb körülmények között is.



(forrás: Prepared by L. Field – Adjunct Biology Professor
 Edited by D. Leonard – Learning Specialist,
<https://daytonastate.edu/asc/files/science52.pdf>)

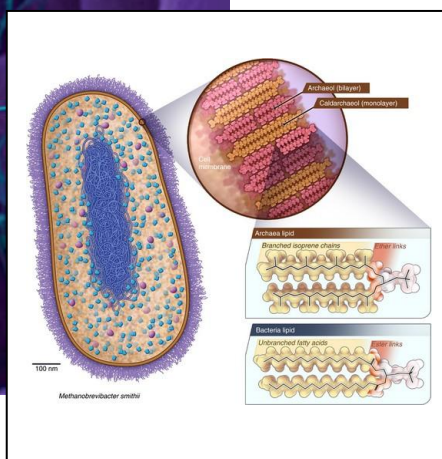
A szélsőséges körülmények között élő élőlényeket extremofileknek nevezik. Sok prokarióta él más élőlények testében, emberekében is. Ez néha halálos kimenetelű bakteriális fertőzéshez vezet, de az ilyen organizmusok általában ártalmatlanok, vagy kifejezetten hasznosak a gazdaszervezet számára.

Az **archeák** (Archaea vagy Archaeobacteria, a görög archoios, „archaikus” az „ősi eredetűek” kifejezésből) vagy ősbaktériumok az élő szervezetek egyik nagy csoportja.



Archeák mikroszkópos képe
Az archeák hőforrásokban, lúgos tavakban élnek. Az archeákat szennyvízkezeléshez is használják.

A baktériumokhoz hasonlóan egysejtű, sejtmag nélküli, azaz prokarióta szervezetek.



A geológiában használt archaikum földtörténeti időszak arra a korra utal, melyben a baktériumok és az archeák voltak az egyedüli sejtes organizmusok a Földön.

(forrás: cience.sciencemag.org/content/358/6366/983)

Valószínűsíthetőleg ezekre a mikroorganizmusokra utaló 3,8 milliárd éves fosszilis maradványokat is találtak már.

Számos archea kedveli az extrém élőhelyeket (extremofil). Viszonylag magas hőmérsékletű, gyakran 100 °C-nál melegebb helyeken, gejzirekben, óceán fenekén található hőforrásokban is képesek túlélni és szaporodni. Mások rendkívül hideg vagy nagyon sós, savas vagy lúgos vizekben találhatóak meg.

Archeákat találtak extrém körülmények között, mint például a vulkáni hőforrások közelében. A képen egy hévforrás Grand Prismatic Spring a Yellowstone Nemzeti Parkban.

(forrás: Wing-Chi Poon, hu.wikipedia.org/wiki/Archeák)



Az archeák rendkívüli változatosságot mutatnak az anyagcseréjükben előforduló kémiai reakciók tekintetében, és sokféle energiaforrást használnak. Ezeket a reakciókat táplálkozási csoportokba sorolják az energia- és a szénforrástól függően. Egyes archeák szervesen vegyületekből, például kénvegyületekből vagy ammóniából nyerik az energiát, van egy újabban felfedezett, amely uránt használ energiaforrásként.



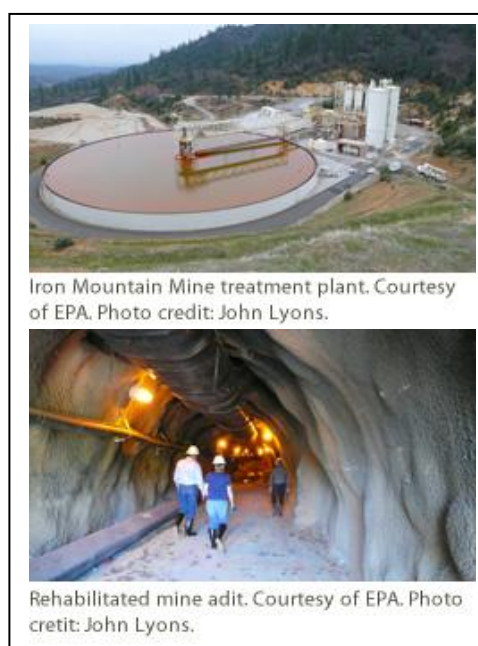
(forrás: Wing-Chi Poon, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Archeák>)

Archaea fajok a Yellowstone park gejzírjeiben (Midway Geyser Basin, Yellowstone National Park, Wyoming, USA)

A többi faj a normális hőmérsékleti körülményeket részesítik előnyben (mezofil), ezek a fajok mocsaras területeken, csatornáknban, tengervízben és földben is megtalálhatóak. Számos metánt termelő faj él más állatok, például kérődzők, természetek és az ember emésztőrendszerében. Találtak közöttük olyan tengeri Crenarchaeota fajt, mely képes nitrifikálásra. Idáig nem találtak közöttük bizonyítottan kórokozót, bár bizonyos metanogén archeák jelenléte és az emberi periodontitis közötti összefüggés gyanítható.

Az általuk kedvelt élőhely alapján három csoportba szokás osztani őket: halofil, metanogén és termofil. A halofil fajok extrém sós környezetben élnek. A metanogén fajok anaerob környezetben fejlődnek és metánt termelnek. Üledékekben vagy állatok bélrendszerében találhatóak. A termofilek meleg élőhelyeken, például hőforrásokban élnek.

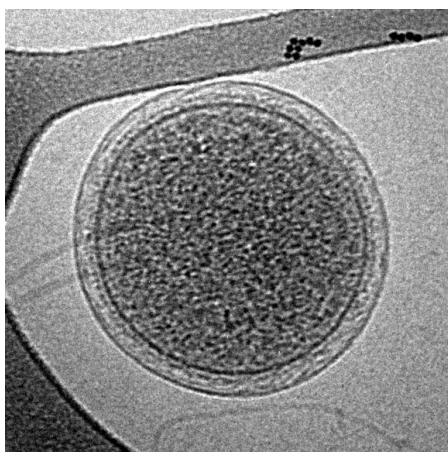
Az ARMAN egy új csoportja az archaea doménnek, melyet savas bányavízben fedeztek fel Észak Californiában.



Iron Mountain Mine treatment plant. Courtesy of EPA. Photo credit: John Lyons.

Rehabilitated mine adit. Courtesy of EPA. Photo credit: John Lyons.

Iron Mountain mine, Shasta County, California



Archaeal Richmond Mine acidophilic nanoorganisms (ARMAN), uncultured acidophilic lineages, (Domain: Archaea, Phylum: Euryarchaeota)
(forrás: Brett J. Baker, Gene W. Tyson, Richard I. Webb, Judith Flanagan, Philip Hugenholtz, Eric E. Allen, Jillian F. Banfield: Lineages of Acidophilic Archaea Revealed by Community Genomic Analysis, *Science* 314 (5807): 1933–1935. doi:10.1126/science.1132690. PMID 17185602.)

A Freiburgi Egyetem II. Biológiai Intézmény mikrobiológusai felfedeztek egy korábban ismeretlen központi metabolikus utat a mikroorganizmusokban, mely biztosítja, hogy rendkívül sós feltételek esetén is életben maradjanak, mint például a Holt-tengerben.



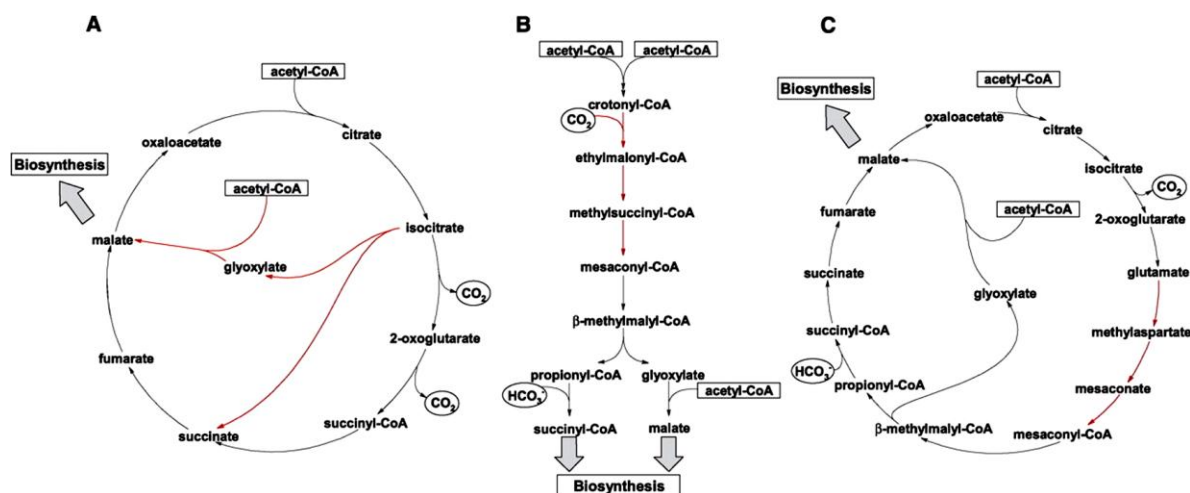
A Holt-tenger ugyanis nem halott, mikroorganizmusok népesítik be, melyeknek többsége a só-toleráns archeák csoportjába tartozik.

(forrás: impressmagazin.hu/haldoklik-a-holt-tenger/)

Ivan Bergnek és Freiburgi kollégáinak, Maria Khomyakovanak, Özlem Bükmeznek, Lorenz Thomasnak, és Tobias Erbnek sikerült feltárni ennek a metabolikus útnak a részleteit a *Science* folyóiratban (2011.,331:334-337). A tudósok felfedezték, hogy a só-toleráns (halofil) archeák ősei a géneket ehhez a metabolikus úthoz már mikroorganizmusoktól „gyűjtötték össze”. A szervezetek közötti génátvitel lehetőségének jelenségét már korábban ismerték, „horizontális génátvitel” néven (A horizontális génátvitel a vertikális génátadással szemben nem szaporodás révén örökíti a tulajdonságokat, hanem azok úgynevezett ugráló gének révén kerülnek át egyik élőlény génállományából a másikba.).

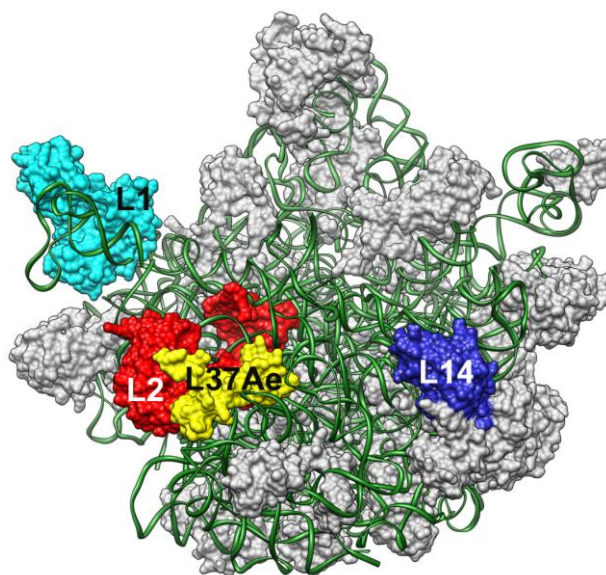
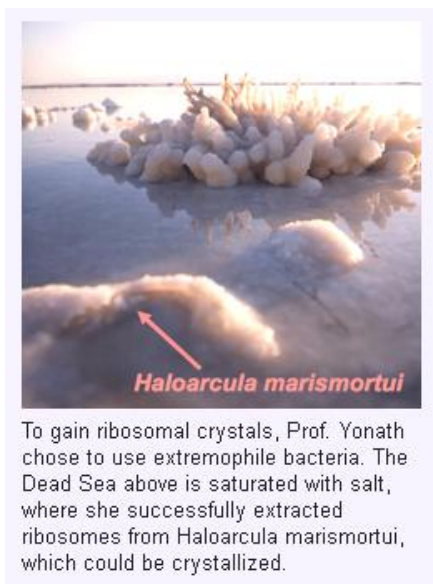
A fotoszintézis mellett a cukor előállításának eddig két alternatív módját ismertük. A közel-keleti Holt-tenger sóban gazdag környezetéhez adaptálódott baktériumokban azonban a metabolizmus új útját fedezték fel, a metilaszpartát-ciklus.

Anyagcserénk egyik központi molekulája az acetil-CoA. A glikolízis során keletkező vegyület a citromsav-ciklusba lépve a terminális oxidáció közvetett fűtőanyaga. A gerincesek azonban nem képesek a katabolizmus folyamatait megfordítva cukor felépítésére felhasználni az acetil-CoA-t, ezért saját szerves-anyagainkat a környezetből felvett szerves-anyagokból építjük fel. Ez a heterotróf anyagcsere. Az autotrófok, mint a növények, számos baktérium, gomba és mikroorganizmus azonban képes megfordítani a katabolikus utat. A citromsav-ciklus mellett két alternatív mód is ismert. A glioxalát-ciklus és az etilmalonil-CoA útvonal- olvashatjuk az mRNS.hu, Hirnök az Élettudományokban 2011.január 23-án közzétett cikkében.



(forrás: M Khomyakova et al. Science 2011;331:334-337,
<http://mrns.hu/userfiles/image/acetly-Coa.jpg>)

A vizsgálatok az Archea doménhez tartozó *Haloarcula marismortui* nevű mikroorganizmuson zajlottak. Az áttörést az hozta, mikor kiderült, hogy ez a faj nem képes a glioxalát-ciklust használni, mert hiányzik a folyamat egyik kulcs enzime, az izocitrát liáz. Az organizmus az etilmalonil-CoA útvonalat sem használhatja, mivel azok a gének is hiányoznak belőle, melyek ezen útvonal enzimeinek előállításához szükségesek.

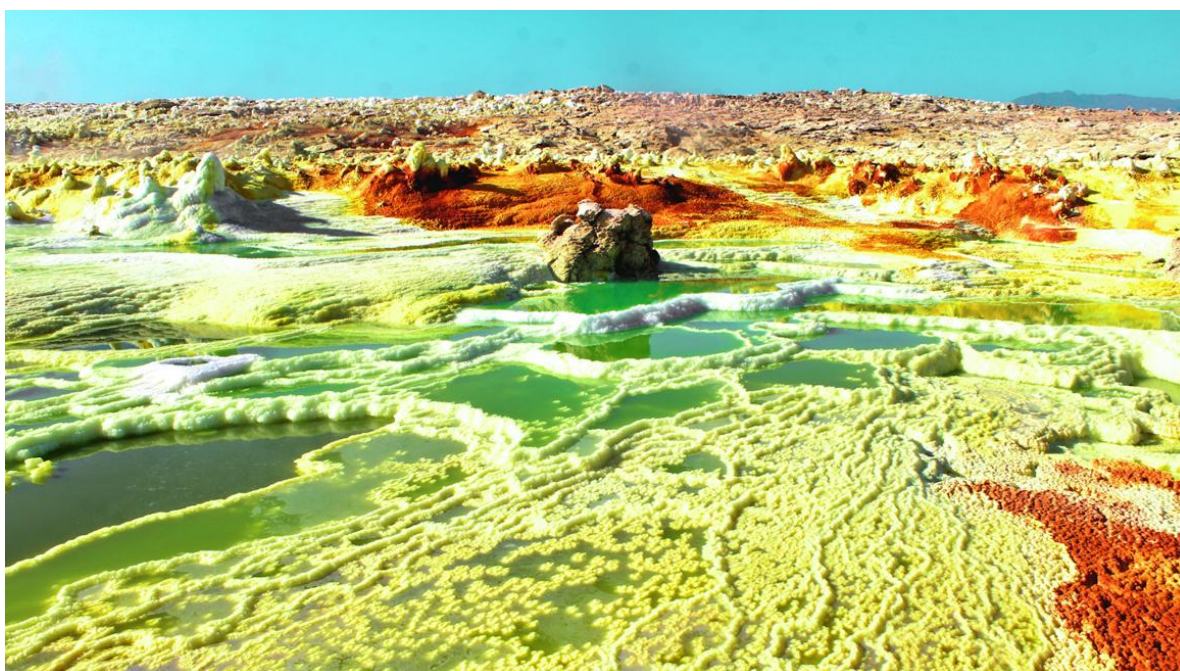


(forrás: <http://legacy.kek.jp/intra-e/feature/2010/PFandProfYonath.html> és
www.biomedcentral.com/1472-6807/9/32/figure/F4?highres=y)

Az L1, L2, L14 és L37AE fehérjék elhelyezkedése a *Haloarcula marismortui* mikroorganizmus 50S riboszóma alegység belsejében.

Az 1980-as évek óta ismert a kutatók számára, hogy egyes mikroorganizmusok a legextrémebb földi viszonyok között is képesek túlélni. A mélytengeri hidrotermális kürtöket, hőforrásokat, extrém kémhatású vagy rendkívül sós környezeteket úgynevezett extremofil – azaz szélsőséges környezeteket eltűrni képes vagy egyenesen azokat kedvelő – mikrobák lakják.

Francia és spanyol kutatókból álló csoport Jodie Belilla vezetésével a *Nature Ecology & Evolution* tudományos folyóiratban megjelent tanulmányban arra keresett válaszokat, hogy léteznek-e olyan mikrobák, amelyek képesek megélni egyszerre erősen savas, nagy sókoncentrációjú és forró hőforrásokban.



(forrás: Jodie Belilla, David Moreira, Ludwig Jardillier, Guillaume Reboul, Karim Benzerara, José M. López-García, Paola Bertolino, Ana I. López-Archilla & Purificación López-García:

Nature Ecology & Evolution volume 3, pages1552–1561(2019), Published: 28 October 2019,

Belilla, J., Moreira, D., Jardillier, L. et al. Hyperdiverse archaea near life limits at the polyextreme geothermal Dallol area. *Nat Ecol Evol* 3, 1552–1561 (2019) doi:10.1038/s41559-019-1005-0, és

Hallsworth, J.E. Microbial unknowns at the saline limits for life. *Nat Ecol Evol* 3, 1503–1504 (2019) doi:10.1038/s41559-019-1021-0

www.nature.com/articles/s41559-019-1005-0)

Hőforráskürtők és extrém sós tavacskák a Dallol-dóm területén. (Fotó: Electra Kotopoulou.)

A szakemberek kérdéseik megválaszolásához kutatásaikat az etiópiai Afar törésvonalon található Dallol hidrotermális területen és környékén végezték, ahol erős és gyorsan változó intenzitású hőforrások találhatóak. Ezek nagy sókoncentrációjú (33–50 százalékos), magas hőmérsékletű (25–110 Celsius-fokos) és erősen savas (alacsony kémhatású) tavakat, tavacskákat hoznak létre. A Dallol teljesen földön kívülinek tűnő környezete így elég jó analógiája például a NASA Spirit marsjárója által 2007-ben vizsgált egykori hidrotermális terület viszonyainak.

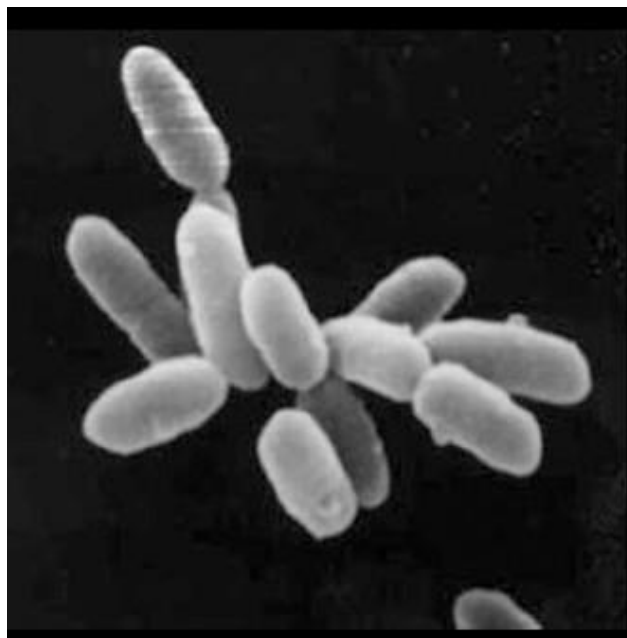
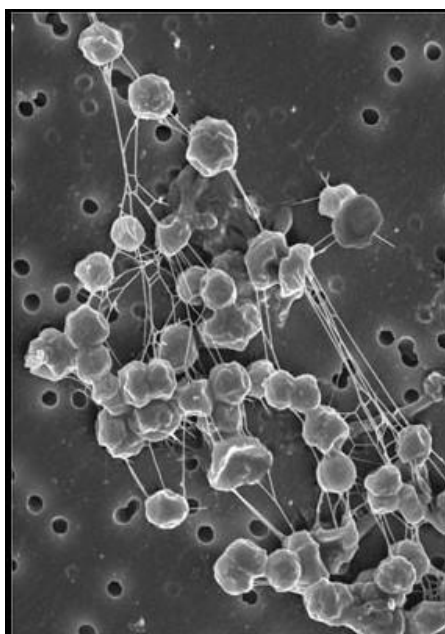


(forrás: <https://qubit.hu/2020/01/10/titokzatos-mikroorganizmusok-probalnak-tulelni-a-fold-egyik-legelhetetlenebb-pontjan>)
Dallol-dóm területe etiópiában. (Fotó: Michael Meraner)

Több mintavételi zónában is végeztek vizsgálatokat.

A második zóna közeli, nagy sókoncentrációjú kanyonokból állt, ahol a kutatók barlangi sós tavacskákból és rövid ideig létező pocsolyákból vettek mintákat. A Dallol-dóm alján található állóvizek nagy sókoncentrációjúak (35 százalék), közepes hőmérsékletűek (30 Celsius-fok) és kissé savasak voltak (pH 4-6). Ezzel ellentétben a nagyon sós, forró és savas „Fekete-tóhoz” közeli pocsolyák nem túl meglepő módon savasabbak (pH 3), melegebbek (40 Celsius-fok) és sósabbak (35–60 százalék) voltak.

A legjobb törekvések ellenére a kutatóknak csak a második zóna barlangi tavaiból, valamint a kevésbé extrém környezetet biztosító Assale-tóból sikerült valóban ottani létformákból származó DNS-t izolálniuk. A molekuláris biológiában általánosan használt polimeráz-lánreakció (PCR) segítségével megsokszoroztak meghatározott DNS-szakaszokat a mintákban, rengeteg másolatot készítve róluk. A megsokszorozott DNS-szakaszok a fehérjeszintézisért felelős molekuláris gépezetnek, azaz a prokarióta riboszómának a 16S és 18S riboszomális RNS-komponenseit kódoló génei voltak. Ezen gének használata régóta bevett gyakorlat mikrobák azonosítására, rendszertani kategorizálására vagy evolúciós kapcsolataik feltárására (ami a filogenetika tárgykörébe tartozik). A genetikai vizsgálatok eredményeiből kiderült, hogy a barlangi tavacsok és az Assale-tó területén rendkívül változatos archeák élnek.



(forrás: myriverside.sd43.bc.ca/megans2015/2018/02/06/biology-11-6-kingdoms/, és <https://karaskingdoms.weebly.com/archaeobacteria.html>)

Archeák elektronmikroszkópos felvételeken. A bal oldali képen metanogén, a jobb oldalin Haloarcheák láthatók. Fotó: NASA

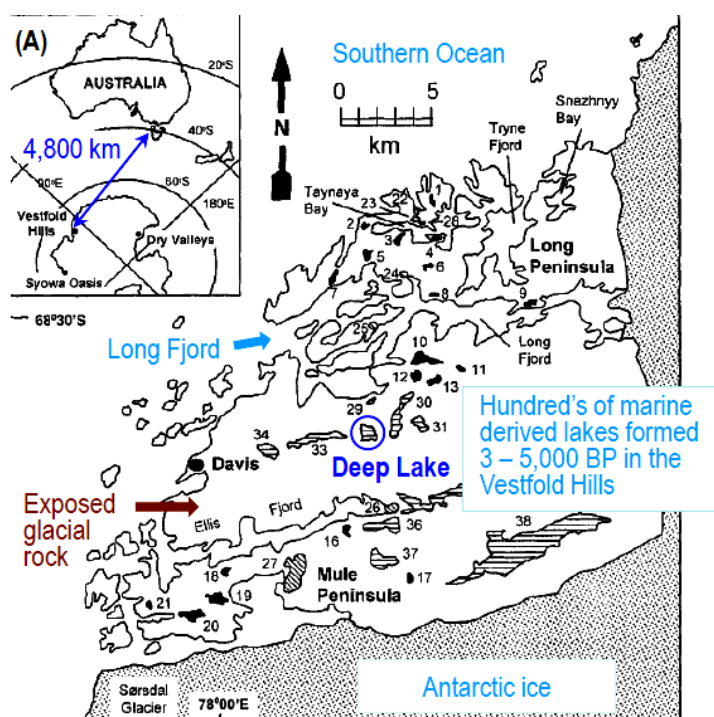
A Belilla és kollégái által azonosított archeák fele a Haloarchaea (korábbi nevükön Halobacteria) csoportba, negyedük pedig a Nanohaloarchaeák közé tartozik. Mindkettő a nagyobb Euryarchaeota csoport tagja, életmódjukat tekintve pedig sókedvelő extremofilnek tekinthetők. A mintákban azonosított fennmaradó mikrobák szinte a teljes archea-változatosságot lefedik. A szakemberek szerint a nagy mennyiségű Haloarcheán Nanohaloarcheák élnek úgynevezett ekto-szimbionta kapcsolatban, egyfajta külső élősködőként.

A fagypont alatti hőmérséklet ellenére akad az Antarktiszon néhány tó, amelynek vize sosem fagy be, mert annyira magas sótartalommal rendelkezik. Ezek egyike, a Vestfold Hills, Deep Lake 3500 éve izolálódott az óceántól, amikor a kontinens emelkedni kezdett. A tó a világ legbarátságatlanabb élőhelyeinek egyike: vize jóval sósabb és hidegebb (akár $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on is folyékony marad), mint amit az élőlények többsége képes elviselni.



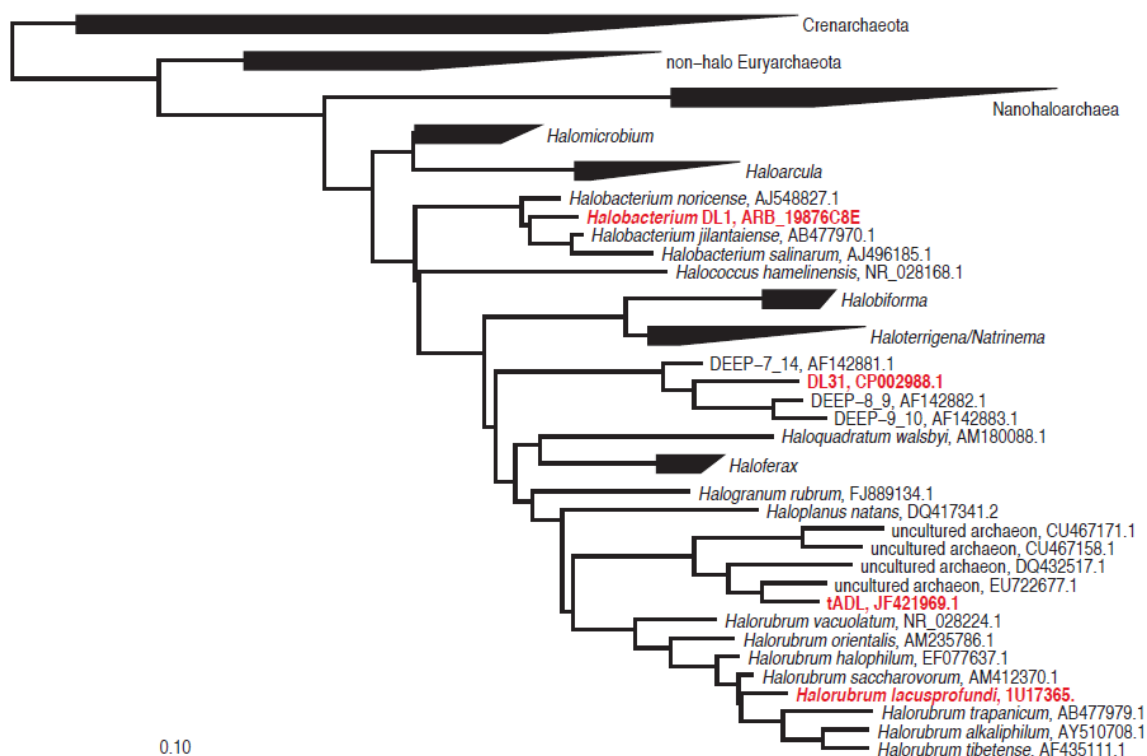
(forrás: Rob 'Angry' Cullen, www.sci-news.com/biology/science-microbes-deep-lake-antarctica-01424.html)

Deep Lake, Antarktisz



(forrás: Matthew Z. DeMaere, Timothy J. Williams, Michelle A. Allen, Mark V. Brown, John A. E. Gibson, John Rich, Federico M. Lauro, Michael Dyal-Smith, Karen W. Davenport, Tanja Woyke, Nikos C. Kyrpides, Susannah G. Tringe, Ricardo Cavicchioli: High level of intergenera gene exchange shapes the evolution of haloarchaea in an isolated Antarctic lake, Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013. szeptember 30., doi: 10.1073/pnas.)

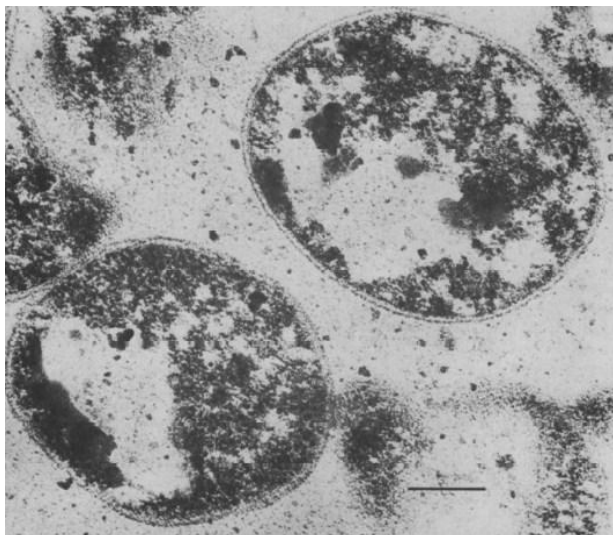
A kutatók négy jól elkülöníthető ősbaktérium-nemzetséget találtak a tóban, amelyekben az általánosságban megállapítható genetikai különbözőségek ellenére a túlélést biztosító géneket tartalmazó DNS-szakaszok meglehetősen egyformának tűnnek. Úgy látszik, hogy kifejezetten hosszú génszakaszok cserélődtek ki, ehhez hasonlóan pedig még sosem sikerült természetes körülmények közt élő organizmusokon megfigyelni, mondja Rick Cavicchioli (University of New South Wales), a kutatás egyik résztvevője a Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) folyóirat 2013. szeptember 30-ai kiadásában.



Még érdekesebb, hogy az intenzív horizontális géncsere ellenére a tóban továbbra is elkülönülő fajokként léteznek a mikrobák, tehát egyik ősbaktérium sem vált olyannyira dominánssá, hogy homogén ökoszisztémává változtassa az élőhelyet. Az egyes fajok eltérő ökológiai fülkéket foglalnak el, máshonnan szerzik be táplálékukat, és a tó más-más rétegeiben élnek.

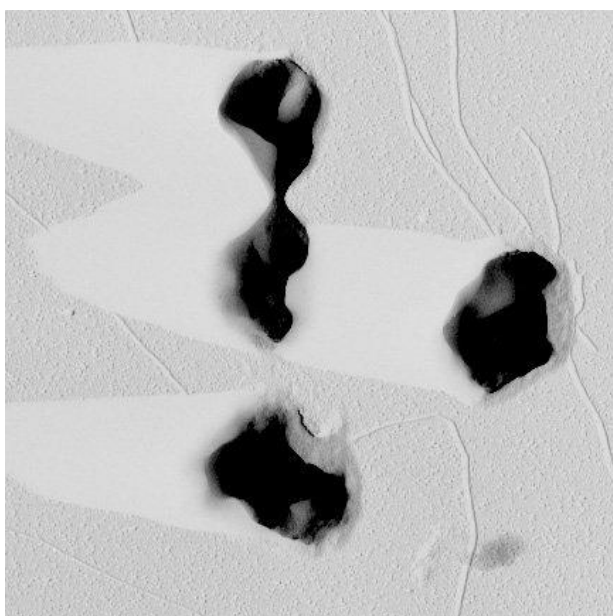
A Deep Lake vize olyannyira hideg, hogy rendkívül kevés energiaforrás áll a benne élők rendelkezésére. Az ősbaktériumok így nagyon lassú metabolizmussal rendelkeznek, és rendkívül lassan szaporodnak más környezetben élő rokonaikhoz képest. Az egyik faj például egy év alatt nagyjából hat generációt termel ki, holott a hasonlóan sós, de melegebb környezetben élő rokon fajok akár 600 generációval is gazdagodhatnak ugyanennyi idő alatt.

Az Észak-Karolinai Állami Egyetem kutatói azt vizsgálták, hogyan birkózik meg a mérgező hatású nehézfémekkel két, uránban gazdag környezetben előforduló archea. Kiderült, hogy a két közeli rokon egysejtű szervezet egészen más taktikát választ, annak ellenére, hogy genetikailag 99,99 százalékban megegyeznek egymással.



Metallosphaera sedula (TH2)
skála: 0,2 μm

(forrás: Gertrud Huber, Carola Spinnler, Agata Gambacorta, Karl O. Stetter: *Metallosphaera sedula* gen. and sp. nov. Represents a New Genus of Aerobic, Metal-Mobilizing, Thermoacidophilic Archaeobacteria, *Systematic and Applied Microbiology*, 1989. április 18.)



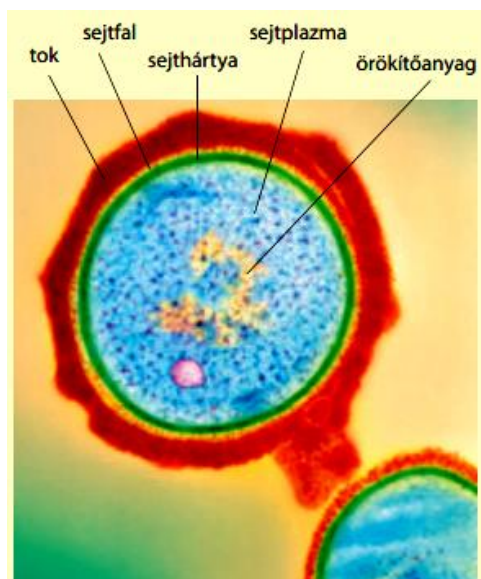
Metallosphaera prunae,

(forrás: Fuchs, T., Huber, H., Teiner, K., Burggraf, S. & Stetter, K. O. (1995). *Metallosphaera prunae*, sp. nov., a novel metal-mobilizing, thermoacidophilic Archaeum, isolated from a uranium mine in Germany. *Syst Appl Microbiol* 18, 560–566.)

Az egyik élőlény, a *Metallosphaera sedula* a Vezúv közelében lévő hőforrásokban él, és közvetlenül győzi le az urán mérgező hatását: bekebelezi a nehézfémet és energiát nyer belőle anyagcsereje folyamán. Ez önmagában is meglepő volt a kutatók számára, mert ez az első alkalom, amikor kimutatták egy szervezetről, hogy képes közvetlenül felhasználni az uránt energiaforrásként. (Az uránt közvetett energiaforrásként használó élőlényekről már korábban is tudtak.)

A **baktériumok** az archaea vonaltól elválva kezdtek el külön úton fejlődni. A baktériumok és az archaea utolsó közös ősei valószínűleg azok a termofil szervezetek lehettek, melyek 2,5–3,2 milliárd évvel ezelőtt éltek.

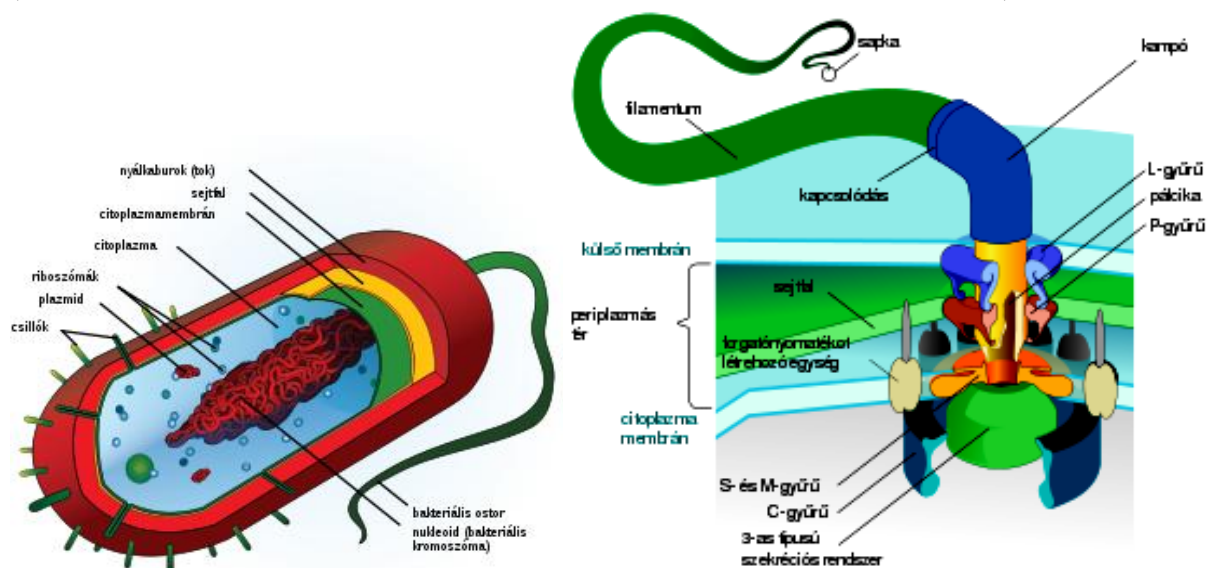
A második nagy evolúciós szétválásban, az archeák és az eukarióták szétválásában is szerepet játszottak a baktériumok. Az eukarióták akkor jelentek meg, amikor ősi baktériumok endoszimbiózisra léptek az eukarióta sejtek őseivel, melyek maguk is feltehetően az Archea csoport tagjai voltak. Ennek során az ősi forma bekebelezett egy alfa-proteobaktériumot (melyből



Baktériumsejtről készült elektronmikroszkópos felvétel

később a mitokondrium lett) és egy cianobaktériumszerű organizmust (melyből később a színtest lett). Ezt az endoszimbionta-elméletet Lynn Margulis amerikai kutató 1967-ben publikálta. Margulis szerint a bekebelezett kisebb prokarióta sejtek tovább éltek a sejtben belül, és az együttélés sikeres sejt kapcsolatnak bizonyult. Az elmélet bizonyítéka lehet az, hogy a mitokondrium és a színtest bakteriális méretű; saját örökítőanyaggal rendelkeznek, ami a prokariótákhoz hasonlóan kör alakú DNS; saját enzimikus apparátussal rendelkeznek és osztódásuk a sejt osztódásától független.

(forrás: tankonyvkatologus.hu/pdf/FI-505031001_1__teljes.pdf)



(forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Baktériumok>)

A baktériumsejt felépítése.

A bakteriális ostor felépítése.

Szalagos vasérc képződmények, a BIF-ek (Banded Iron Formation) tengeri üledékes kőzetek, általában jól kifejtett sávosság figyelhető meg bennük, vasban és kovában gazdag rétegek váltják egymást. Képződésükhöz oxigénszegény (anoxikus) körülmények szükségesek.

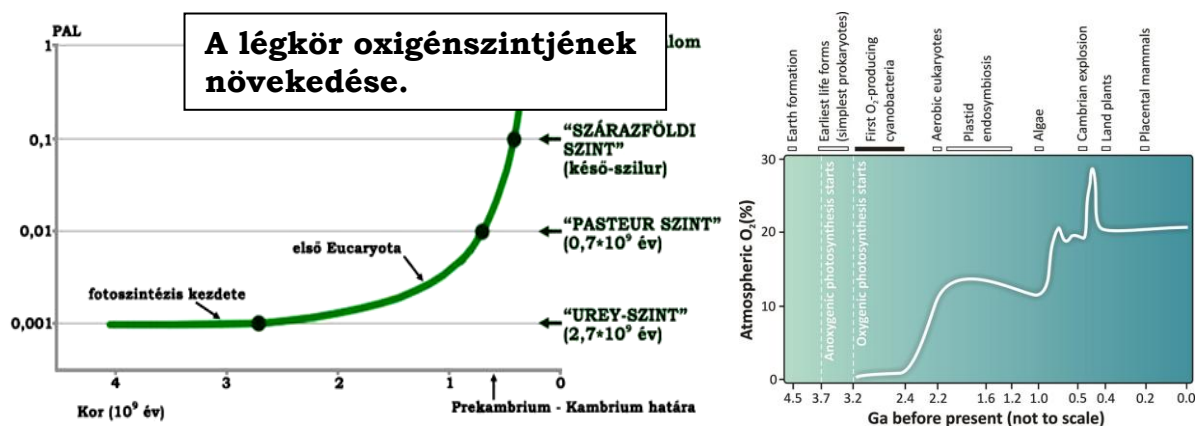
A vas viselkedését a tengervízben két kationjának eltérő oldhatósága szabályozza: míg a redukált Fe(II) oldatban marad, az oxidált Fe(III) kicsapódik.

Ma minden kontinens legidősebb kéregdarabjain (az archaikumi kratonokon) találni BIF-eket. A legidősebb sávos vasércet Grönland és Kanada 3,8 milliárd évvel ezelőtt, a kora archaikumban képződött kőzetsorozataiból ismerjük. A legfiatalabb BIF neoproterozoikumi, kora 635 millió év, de képződésének csúcsa két és fél milliárd évvel ezelőtt volt.



<https://www.australiasnorthwest.com/explore/pilbara/karijini-national-park/karijini-geology-and-social-history>

A legnagyobb men.nyiségben az archaikum és proterozoikum átmenete táján, 2,6 milliárd éve képződtek sávosvasérc-formációk, majd ennek a csúcsnak mintegy 2,4 milliárd éve a Nagy Oxigéndúsulási Esemény (NODE) vetett véget. Az oxigénszint növekedése elérte az óceán mély részeit is, így visszaszorult a BIF képződése számára fontos redukzív környezet. Ebben az időben az óceáni vulkanizmushoz kötődő hidrotermás tevékenység is csökkent, melyre geokémiai adatok utalnak. Ezáltal a vulkáni eredetű oldatokból kevesebb, a BIF képződéséhez nélkülözhetetlen vas került a tengervízbe. Hiába vált azonban oxidatívvá az atmoszféra és vele együtt egy időre a hidroszféra is, a NODE után 500 millió évvel meglepő módon ismét világszerte újra képződtek vasércformációk. Ehhez az volt szükséges, hogy a légköri és az óceáni rendszer viselkedése és redox állapota elváljon egymástól. Ezzel magyarázható, hogy a légköri oxigénszint növekedése ellenére az óceánban ismét kedvező körülmények alakultak ki a BIF-ek második képződési csúcsához.



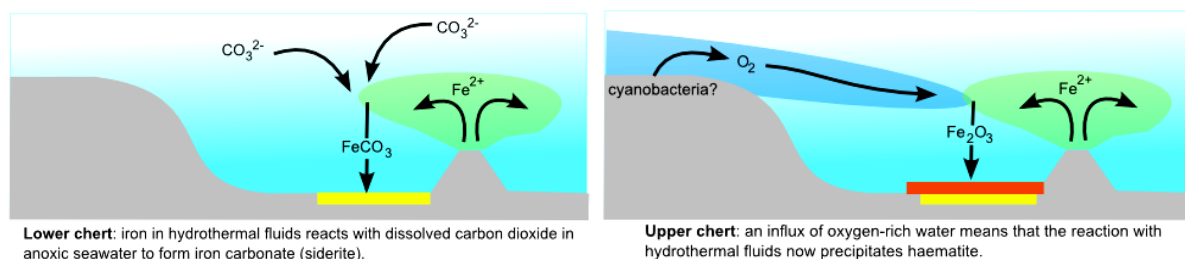
(forrás: adoc.tips/paleontologia-dr-david-arpad.html, és www.researchgate.net/publication/225074634_Adventures_with_Cyanobacteria_A_Personal_Perspective)

A korábbi elképzelések szerint a BIF-ekben felhalmozódott vas a kontinenseket felépítő kőzetek mállásából származott, amely az atmoszféra akkori alacsony oxigéntartalma miatt Fe(II) formájában eljuthatott az óceánokig anélkül, hogy oxidálódott volna. A folyók azonban oldott anyagok mellett lebegtetett üledéket is szállítanak az óceánokba, de a BIF-ekben mégsem található számottevő mennyiségű szárazföldi eredetű üledékszemcse.

Az ellentmondás feloldásában és a vas más lehetséges forrásának azonosításában a mélyvízi hidrotermás rendszerek, a „fekete füstölők” 1970-es évekbeli felfedezése segített. Geokémiai bizonyítékokkal igazolható, hogy valóban ezekből a rendszerekből származik a vas.



A vas oxidációjának és kiválásának a folyamatára három különböző magyarázat is felmerült, de a sávos vasérc képződése a hosszú földtörténeti időszak alatt változhatott is, például a légkör egyre oxidatívabb lett. A változó környezeti adottságok mellett valószínű, hogy a BIF-ek képződése sem mindvégig egyféle módon ment végbe.



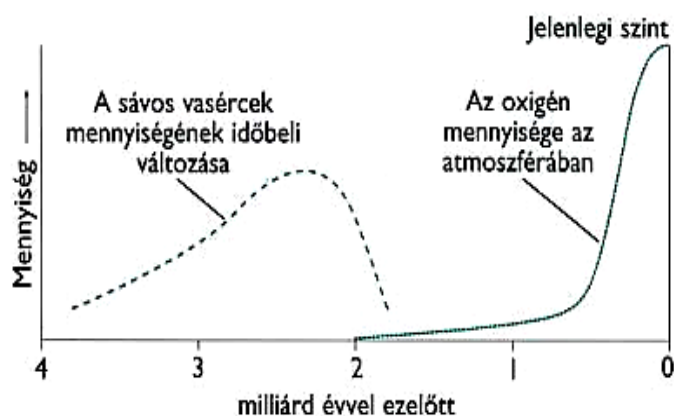
(forrás: all-geo.org/highlyallochthonous/2009/09/lots-of-oxygen-on-the-archean-earth/)

A hagyományos modell cianobaktériumok életműködéséhez köti a vas átalakulásának folyamatát. A kékmoszatoknak is nevezett cianobaktériumok a Föld legősibb élő szervezetei közé tartoznak, fotoszintézist végeznek, ami közben oxigén szabadul fel. A klasszikus BIF keletkezési elmélet szerint az átvilágított, sekély vízben, ahol elegendő tápanyag van, a baktériumok elszaporodnak. A másik alapfeltételnek az oldott Fe(II) általános jelenlétét tekintették az óceánokban. Ahol sok fotoszintetizáló cianobaktérium élt, ott várható a sávosvasérc-formációk képződése, megkötvén a mikrobiális eredetű oxigént.



(forrás: twitter.com/earth_photos/status/1249970653773488132)

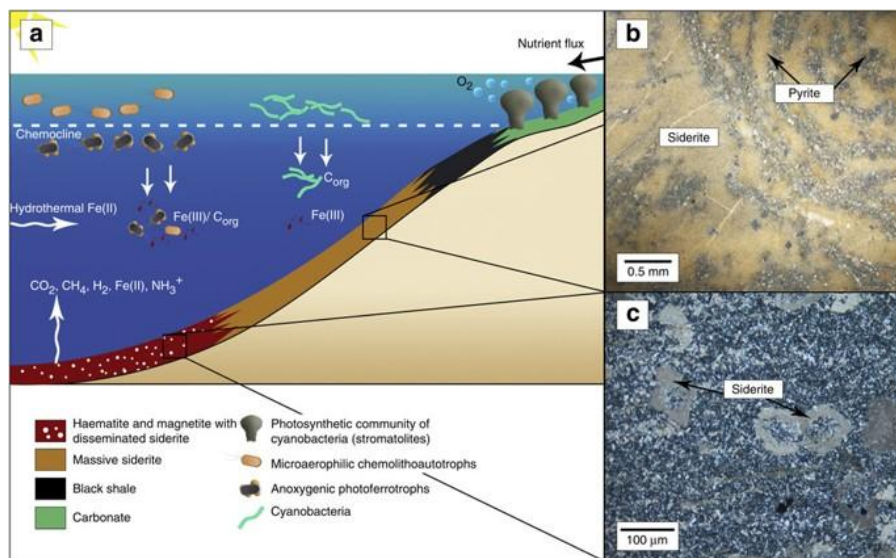
A „Shark Bay” cápa-öböl stromatolitjai.



(forrás: regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_MFFTT600120/sco_11_02.htm)

A sávos vasérc képződés és az atmoszféra oxigéntartalmának változása a földtörténet során

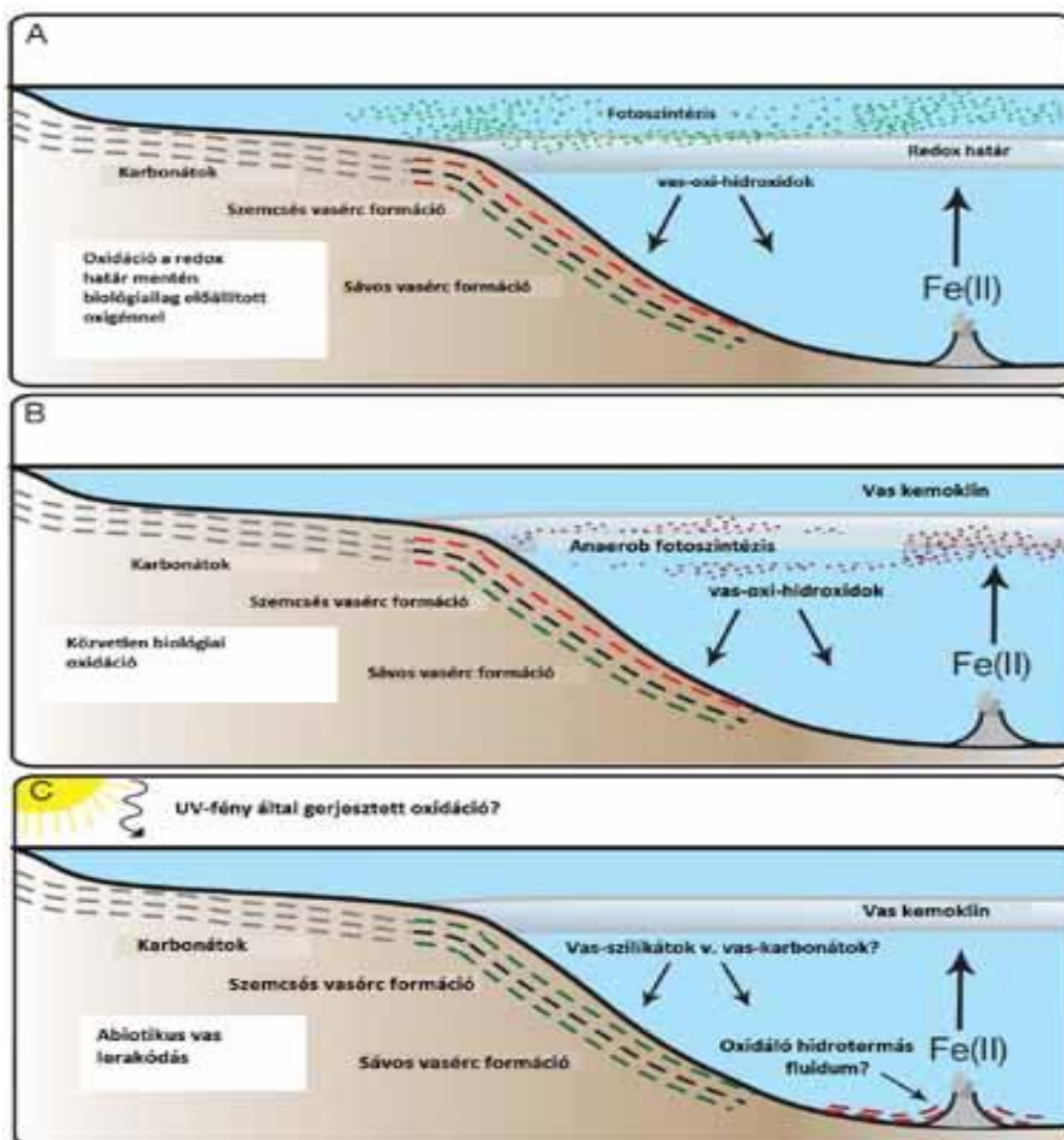
A hatalmas sziderit ágyak és gömb alakú siderite struktúrák kialakulása különböző lerakódási környezetekben.



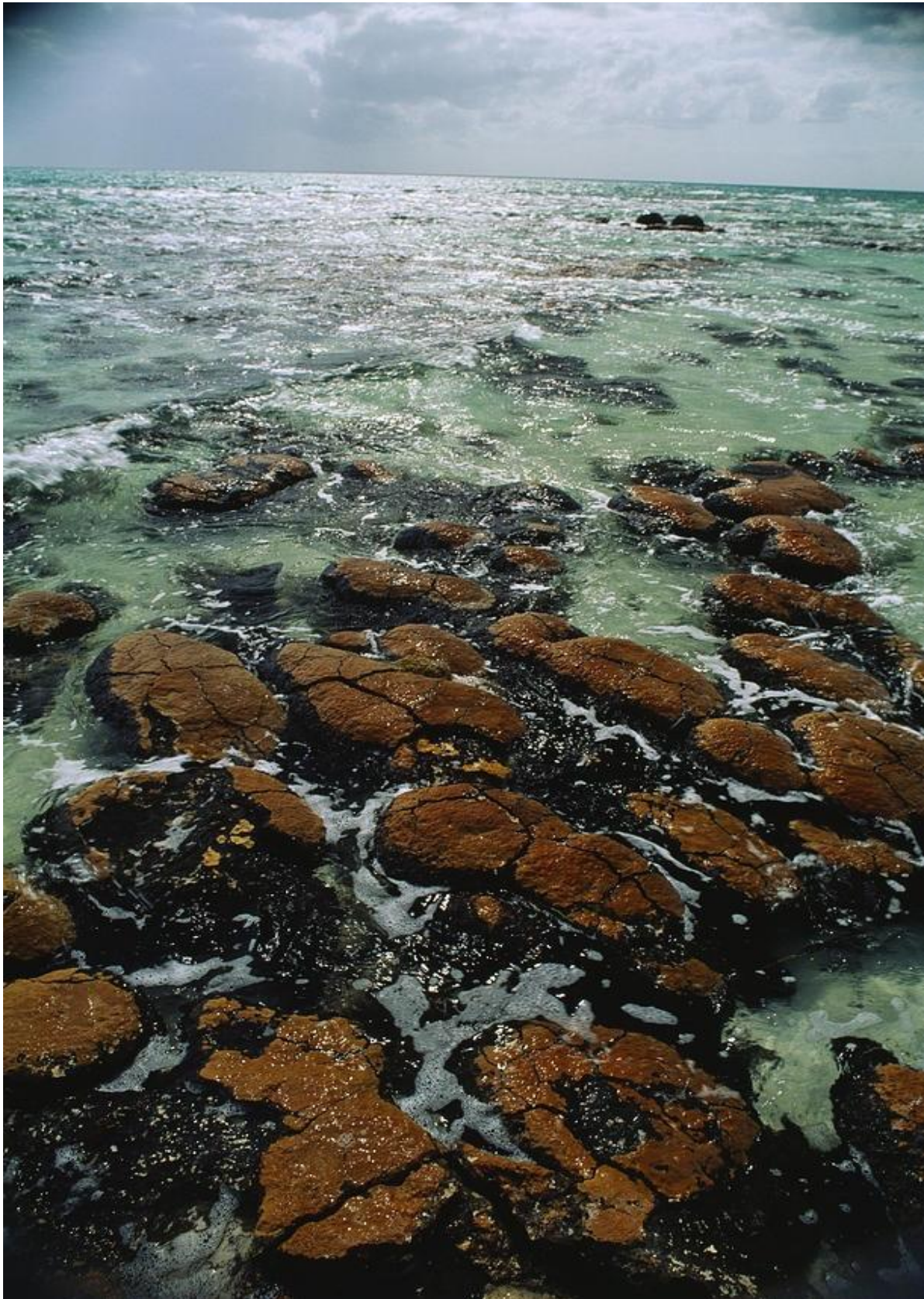
(forrás:
www.nature.
com/articles/
ncomms2770)

A sekély és mélyvízi IF-siderit (Iron- Formation) vas-képződés eredetét összegző modell (a). A fokozott tengeralatti vulkanizmus időszakában a hidrotermális folyadékok Fe (II) -t szivárogtak a mélyvízi hidrotermás rendszerekből, a „fekete füstölők”-ből és áramlanak az óceánokba. A mély óceánból történő felfelé történő felmelegedés (microaerophilic chemolithoautotrophs) és anoxigén fotoferrotrofok növekedését eredményezte a mélyvízben, a kémiai zónában a kemoklin (felszíni vízréteg határa) felett és alatt. Az aktív Fe (II) -oxidációs zóna alacsony sejtsűrűsége és az üledékekben sokkal kisebb C_{org} redukciós potenciál miatt a felhalmozódott Fe (III), a hematit és a magnetit terjedése során a diagenézis (üledékből az idők során üledékes kőzet válik) során képződött gömb alakú és romboedrikus siderit alakul ki. Ezzel szemben a magas folyami tápanyagáramlás a sekély vízkörnyezetben cianobaktériumok virágzását eredményezte; ennek eredményeként a C:Fe arány legalább 1:4, ami megegyezik vagy nagyobb, mint az üledékek redukciós aránya. Ez nagy mennyiségű siderit szemcsék képződéséhez vezetett, amelyek a diagenézis és a metamorfizmus (kőzetnek átváltozása egy más kőzettel) során összekapcsolódtak és masszív siderite ágyakat képeztek. (b) Masszív siderite ágyak, amelyek sekély vízben vannak kialakítva a stromatolitokkal (a rétegeket a piritkristályok hangsúlyozzák) a vulkáni hatás alatt álló kb. 2.7 milliárd éves Michipicoten zöldkő öv, Wawa alprovinca a kanadai Superior tartományban (fényvisszaverő kép, Helen IF, MacLeod mine51). (c) A mélyebb vízkörnyezetben a gömb alakú és romboedrikus siderite struktúrák alakultak ki a korai diagenézis során az IF-k alacsony fokú metamorfizmusáig, amint azt a kb. 2,48 milliárd éves Dales-szoros IF Nyugat-Ausztráliában.

A Fe(II) anoxikus körülmények között más módon is oxidálódhat, anaerob fototróf baktériumok által. Ebben az esetben a baktériumok a Fe(II)-t elektron donorként használják a CO₂ redukciójához. Kísérleti eredmények szerint különböző bíbor és zöld baktériumok is képesek arra, hogy a Fe(II)-t redukálószerként használják a CO₂ megkötése, azaz a szerves anyag szintézise során. Mindezeknek a felfedezéseknek fontos következményei vannak a fotoszintézis fejlődésének és a sávos vasérc képződésének megértésében egyaránt. Ezáltal megkérdőjeleződött a korábbi feltételezés, mely szerint a BIF-ekben található Fe(III)-oxidok a szabad oxigén jelenlétét igazolják.



A Fe(II) oxidációjának három lehetséges modellje
(Bekker et al. 2010 nyomán,
www.termesztvilaga.hu/szamok/tv2014/tv1404/vas.html)



(forrás: fineartamerica.com/art/stromatolite)

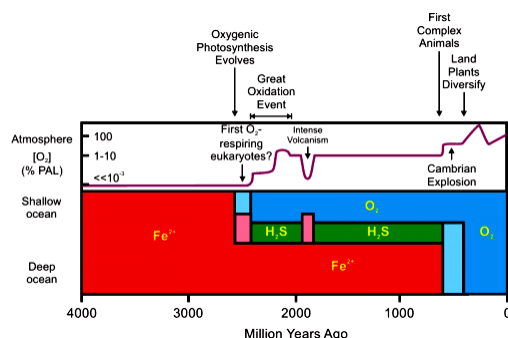
Stromatolitok, Shark Bay, Ausztrália

Az anaerob baktériumok mellett az ultraibolya fény is alkalmas arra, hogy oxigén nélkül Fe(III)-oxidokat hozzon létre. Így merült fel annak a lehetősége, hogy a légköri ózonpajzs kialakulását megelőzően, a Földet érő nagy mennyiségű UV-foton okozhatta a vas oxidációját.

Kísérleti eredmények alapján azonban úgy tűnik, hogy mégsem ez a mechanizmus állhat a sávos vasérc képződésének hátterében, mert a baktériumok által sokkal gyorsabban megy végbe az oxidáció.

„Főleg a geokémia és a mikrobiológia segített új szempontokból megvilágítani a talányos érc képződését. Csak az archaikumban és a proterozoikum legelején, illetve később egy-egy rövid időszakában álltak fenn azok a körülmények és környezeti feltételek, amelyeknek a sávos vasérc létét köszönhetjük. A vasat intenzív tengeralatti vulkánosság hidrotermás oldatai hozták, szállítása a légköri oxigén dúsulását megelőző időkben redukzív vízrétegekben volt lehetséges, oxidációjához és kiválásához pedig ősi típusú mikrobák tevékenysége kellett. A kovát főleg a szárazföldi mállás juttatta a tengerekbe, kicsapódásához nem élő szervezetek tevékenysége, hanem valószínűleg a tengervíz hőmérséklet-ingadozásai vezettek, magyarázatot adva egyúttal a vasérc sávosságára is.” (Kovács Zsófia – Pálfy József: A rozsdamentes Föld talányos bányakincse, Természet Világa, 145. évfolyam, 4. szám, 2014. április,)

A (Fe^{2+}) vagy vas (II) –oxid (vagy a természetben való előforduláskor wüstit) és (Fe^{3+}) vagy vas (III) –oxid, hematit ásványok a nyomás és hőmérséklet változás során közetté formálódnak, és ez a vastartalmú kovakőzet jellegzetesen szalagos. A szalagok kovának (szilícium-dioxid) és szideritnek vagy hematitnak változó rétegei, amelyekben erős átkristályosodás történt. Az árkristályosodás során a már megszilárdult kőzetben a kisebb kristályok nagyobb kristályokká, kristályhalmazokká alakulnak. A vasdús szalagokban magnetit (Fe_3O_4) és pirit (FeS_2) is előfordul.



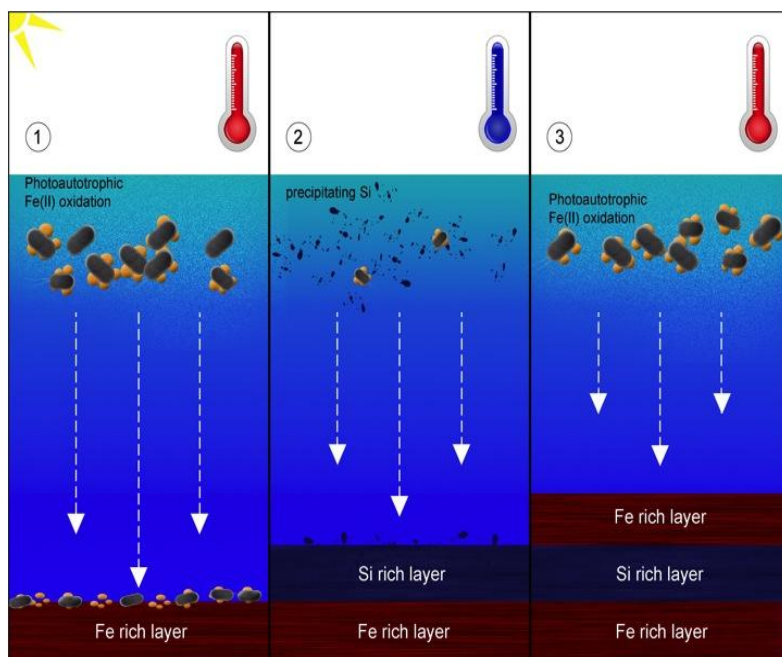
(uwaterloo.ca/wat-on-earth/news/earths-oxygen-revolution)

(commons.wikimedia.org/wiki/File:Banded_iron_formation_Dales_Gorge.jpg)

A BIF-ek szembeötlő jellegzetessége a vas- és kovagazdag rétegek éles váltakozása. Az új modell szerint a vas oxidációját a hőmérséklet is szabályozza, ennek következtében a Fe(III) mikrobiális úton történő kicsapódása és a kova abiotikus kiválása változathatják egymást, ami sok-sok ciklus után a jól ismert, a BIF-ek nevét is kölcsönző sávosságot, rétegzettséget hozza létre. A Fe(II) oxidációját végző baktériumok számára az ideális hőmérsékleti tartomány 25–30 °C között van, ilyen körülmények között a legnagyobb az oxidáció mértéke.

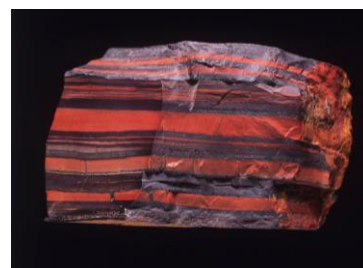
A megfigyelések arra utalnak, hogy a viszonylag magas hőmérséklettel párosuló magas oxidációs ráta mellett képződnek a vasásványok, a hőmérséklet csökkenésével együtt pedig az oxidáció is mérséklődik, kedvezve a kova kiválásának.

Ez a modell csak akkor működhetett a prekambriumi óceánokban, ha valóban léteztek hőmérsékletváltozási ciklusok, amit azonban nehéz közvetlenül igazolni a BIF-ekből. Direkt bizonyítékok hiányában is, elsősorban a modern óceánokban megfigyelhető hőmérsékleti ingadozás analógiája alapján sokan gondolják úgy, hogy a prekambriumi tengerek felső, átvilágított övében is jelentős hőmérsékleti változások lehettek.



(fotó: Paul Harrison,
CC BY-SA 3.0
Science Source - Banded
Iron Rock,

www.picuki.com/media/1539059816012878485)

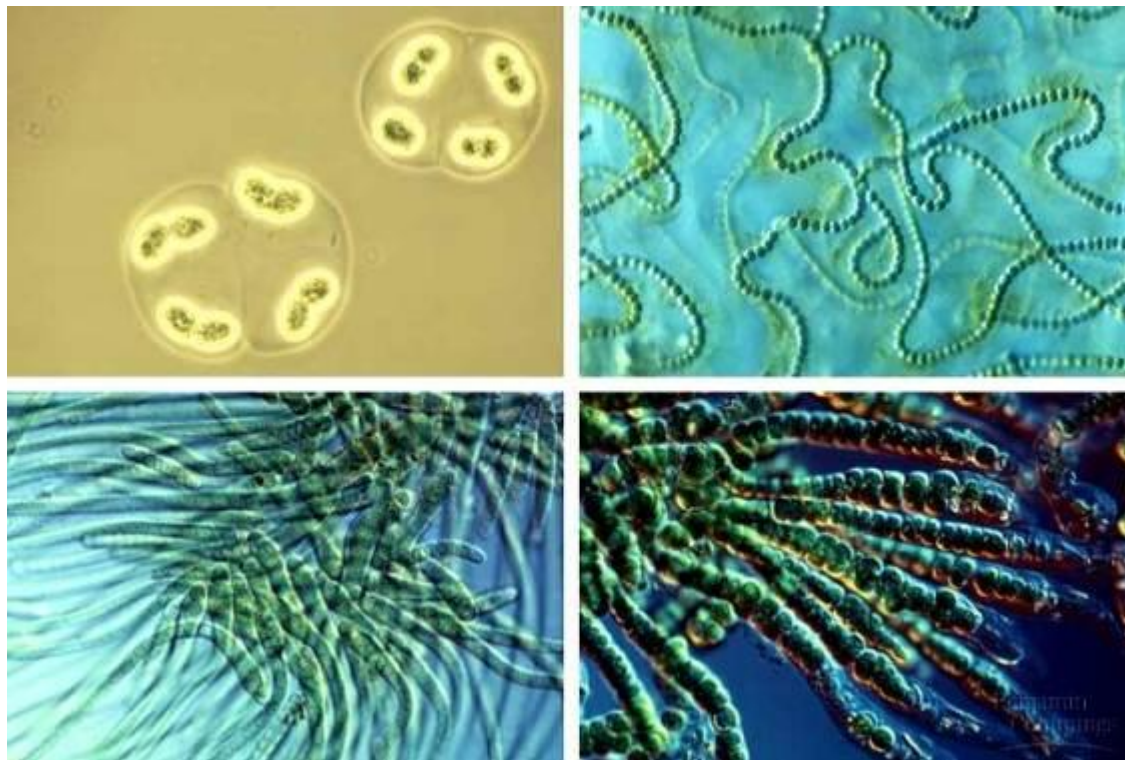


(forrás: Inga Köhler, Kurt O Konhauser, Dominic Papineau, Andrey Bekker, Andreas Kappler: Biological carbon precursor to diagenetic siderite with spherical structures in iron formations, Nature Communications 4, Article number: 1741 doi:10.1038/ncomms2770)

Vas- és kovadús rétegek váltakozásának képződési modellje.

(Koebler et al. 2010 nyomán), és sávos vasérc kőzet darab (a sötét vas-oxidos rétegek vörös jáspisos kovarétegekkel váltakoznak).

A ma élő kékmoszatok (Cyanophyta) feltehetőleg az első autotróf baktériumok közvetlen leszármazottai. Bár fejlettebb szervezetek, mint a baktériumok, azokkal közös vonásuk, hogy a kékmoszatok sejtmaganyagát sem veszi körül maghártya, tehát ugyanúgy prokarióták.



(forrás:

tamop412a.ttk.pte.hu/files/biologia5/Evolucio/chunks/ch14s03.html)

A geológiai kutatások során számos ősi kőzetben találtak kékmoszat-kövéleteket; a kormeghatározások szerint több milliárd éve élnek a Földön. A legelterjedtebb növényi szervezetek, szélsőséges körülmények között megtalálják életfeltételeiket, mélyen a fagyponthoz alatti helyektől a hőforrások vizéig, a bomló iszaptóktól az atomreaktorok kétszer desztillált hűtővizéig, a talajban és a zuzmótelepekben.

A kékmoszatfajok túlnyomó része - több mint 80%-a - édesvízben él, kimondottan tengeri faj kevés van, ám azok a tengeri szervesanyag-termelésben óriási szerepet játszanak. Érdekes sajátosságuk, hogy nem versenyképesek, mert az egyébként számukra is alkalmas vízben más moszatok mögött visszaszorulnak. Jellemző tulajdonságuk még, hogy fáradt, kékeszöld színű a környezetben domináló fény hullámhosszához igazodik. E kromatikus adaptációjuk révén vörös fényben szegényebb környezetben inkább kékesek, kék fény hiányában vörösek, máskor akár ibolyaszínűek. A Vörös-tenger a mélyből felszínre kerülő, vörös színű kékmoszattól kapta a nevét.

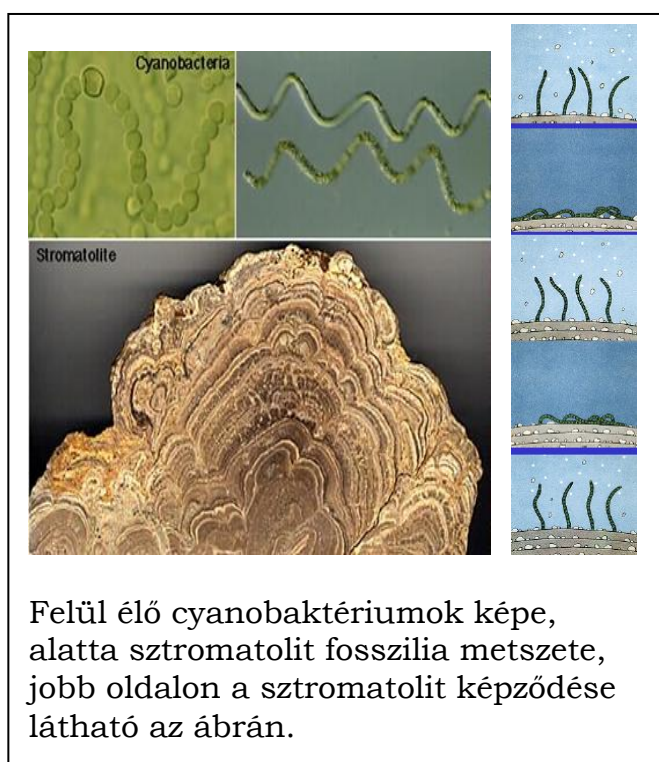


Sztromatolitok

(forrás: fineartamerica.com/art/stromatolite)

A sztromatolitok (Stromatolites) kovás zárványaiban talált ősmaradványok két fő csoportja közül a mikrofossziliák főleg tűzkőben (kova) és palában fordulnak elő, gömbszerű, meszes képződmények vagy meszes szálak formájában. A szabad szemmel is látható sztromatolitok kupola alakú vagy oszlopos szerkezetek, amelyek kékeszöld algák karbonátkiválasztása és az üledék felhalmozódása révén keletkeznek. Ezek a korai prekambriumi élet vitathatatlan bizonyítékeként számos zöldkő-gránit övben megtalálhatók. A zöldkő övek megfelelnek az egykori kratonok (ősi kontinensek) közötti orogén zónáknak (hegységképződési periódus), amik ezen kontinens-kezdemények ütközésekor gyűrődtek fel a korabeli üledékekből, s alakultak később át kisebb vagy nagyobb metamorfózist elszenvedve.

A rétegzettség oka az algák évszakos aktivitásának változása és ezzel együtt a légköri és helyi oxigén-koncentráció változása magyarázza. A sötét, oxigénszegény időszakokban a vas két vegyértékű (redukáltabb), vízben oldékony, addig az algák tevékenysége idején a három vegyértékű (oxidáltabb, rozsdá) formája kötődött az algák géljéhez. Így egy (sötét-világos) ritmus jött létre, ami a kőzetekben ma is jól tanulmányozható a csiszolatiképből.



Felül élő cyanobaktériumok képe, alatta sztromatolit fosszilia metszete, jobb oldalon a sztromatolit képződése látható az ábrán.

(forrás: astrobio.net/origin-and-evolution-of-life/stepping-stones-through-time/)

A sztromatolitok az egész földtörténeti őskorra jellemzőek voltak, és igen gyakoriak leleteik Észak-Amerikában és Szibériában is.

Recens (Ma élő, azaz jelenkorinak nevezünk minden olyan taxont, amely a földtörténeti holocénban, vagyis nagyjából az elmúlt tízezer évben létezett, vagy napjainkban is létezik.) sztromatolitok. Shark Bay, Nyugat-Ausztrália

Spanyolország délnyugati részén kanyarog a Rio Tinto, a vörös folyó. A folyó környéke gazdag vas-, réz-, ezüst- és aranyérc-lerakódásokban. Ezért az ősidők óta az emberek ásványi anyagokat termeltek ki a parti sávokban. Bizonyíték van arra, hogy már 5000 éve a Rio Tinto partján az első ércbányászati műveletek már megkezdődtek. A folyó vizeit használták az érc mosására. Ennek eredményeként különböző fémvegyületek és egyéb melléktermékek kezdtek a folyóba kerülni.

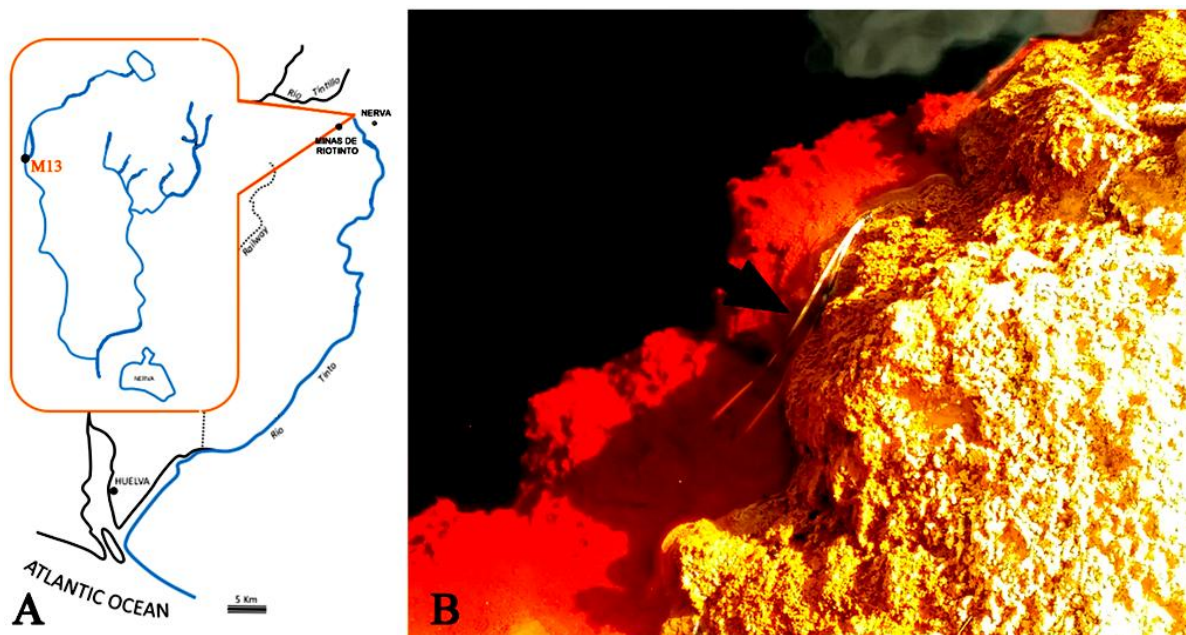
Az őskor óta tartó bányászatnak köszönhetően a víz savas, pH-értéke 2-es. A folyó mégsem élettelen, az extrém körülmények ellenére többek között a folyó vizében **extremophile aerobic baktériumok** élnek. A Rio Tinto-ban jelenlévő extremofil baktériumokat az Antarktisz gleccsereinek alatt is találták.



(forrás: podarilove.ru/hu/krovavaya-reka-rio-tinto-rio-tinto-mertvaya-reka-v-ispanii/)

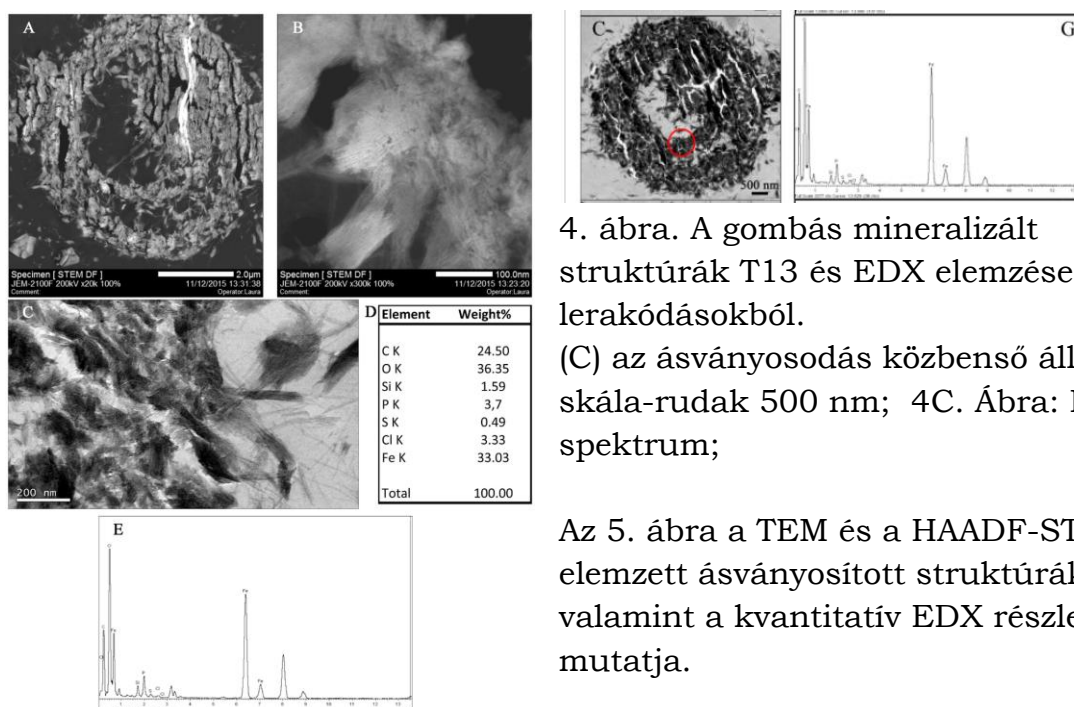
Rio Tinto, Spanyolország





(Monike Oggerin, Fernando Tornos, Nuria Rodriguez, Laura Pascual and Ricardo Amils, Fungal Iron Biomineralization in Río Tinto, www.mdpi.com/2075-163X/6/2/37/htm)

(A) A vizsgálati terület elhelyezkedése, feltüntetve az M13 mintavételi helyét. A skála 5 km-nek felel meg; (B) Az ásványi betétek terepi fényképezése a mintában. A nyíl fényő tüt mutat mint skálát



4. ábra. A gombás mineralizált struktúrák T13 és EDX elemzése az M13 lerakódásokból.

(C) az ásványosodás közbenső állapota, skála-rudak 500 nm; 4C. Ábra: EDX spektrum;

Az 5. ábra a TEM és a HAADF-STEM által elemzett ásványosított struktúrák, valamint a kvantitatív EDX részletét mutatja.

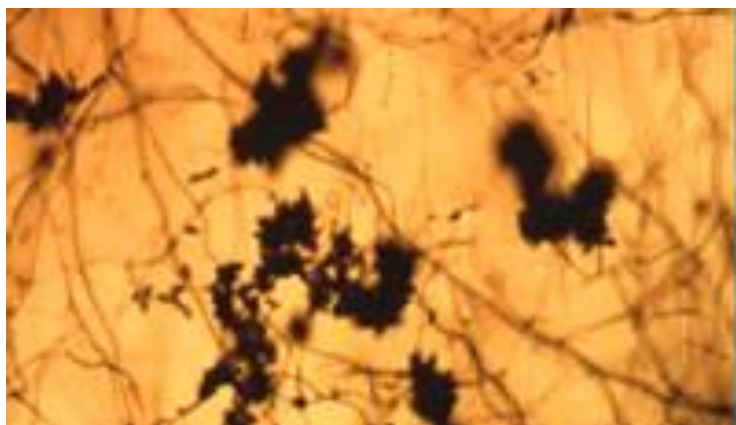
5. ábra (A) a 4C. Ábra HAADF-STEM képe; (B) az 5A. Ábra metszetének HAADF-STEM képe; (C) az 5A. Ábra metszetének TEM képe; (D) az 5C. Ábra kvantitatív elemzése; (E) Az 5C. Ábra EDX spektruma.

Úgy tűnik, hogy az ökoszisztémán belül minden rendszer a vas- és kén ciklusai körül forog. A vas-oxidáló prokarióták és a reduktorok mind anaerob, mind aerob körülmények között képesek működni. Az előállított „Ferric Iron” (Fe^{+3}), más jelöléssel a vas (III), korlátozza a kén ciklust. Az alábbi diagram megmutatja, hogy a vas- és kén ciklusok hogyan kapcsolódnak egymáshoz, valamint hogy miként működnek együtt a mikrobiális populációk a teljes ciklusokban.

A szulfidok először oxidáción mennek keresztül a poliszulfid mechanizmuson, amely elemi ként (S) eredményez. Ebben a helyzetben a mikrobák képesek tovább oxidálni a ként kénsavvá. A Rio Tinto magas pH-szintje innen származik. Az alábbi egyenletek jobban megmutathatják, mi folyik valójában.

A Rio Tinto kemolitotrófjait extremofileknek nevezik, mivel képesek nemcsak túlélni, hanem olyan körülmények között is virágzni, amelyek más mikrobákat általában elpusztítanak vagy károsítanak. A Rio Tinto-ban való túléléshez ezeknek a kemolitotrófoknak olyan alkalmazásokra lenne szükségük, amelyek lehetővé teszik számukra a szélsőséges pH-szint kezelését a nehézfémek erős koncentrációival együtt. A Rio Tinto-n talált kemolitotróf típusok osztályozhatók kén-oxidáló és vas-oxidáló hatásúként. A Rio Tinto-ban található elsődleges kén-oxidáló mikrobát *Acidithiobacillus ferrooxidans* osztályba sorolják. Három további mikrobát is találtak, bár ezek számát nem tekintik szignifikánsnak. Mások az *Acidithiobacillus* nemzetség és az *At* családjában voltak. *thiooxidans*. A Rio Tinto-ban sok vas oxidáló mikrobát találtak. A két legfontosabb vasoxidáló mikrobát specifikus fluoreszcens próbákkal határoztuk meg. Az eredmények azt mutatták, hogy *L. ferrooxidans* és *At. ferrooxidans* a legfontosabbak. Más mikrobákat találtak és azonosítottak *Leptospirillum ferrooxidans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* és *Ferroplasma* spp.

Az ilyen típusú mikrobák oxidálják a szervesetlen vegyületeket, hogy energiát nyerjenek.



Acidophilic demateaceous gomba (fekete gomba) Rio Tinto folyóból.

(forrás: Dr. Ricardo Amils, www.astrobio.net/topic/origins/extreme-life/living-on-fools-gold/)

Acidophilic demateaceous gomba (fekete gomba) Rio Tinto folyóból.

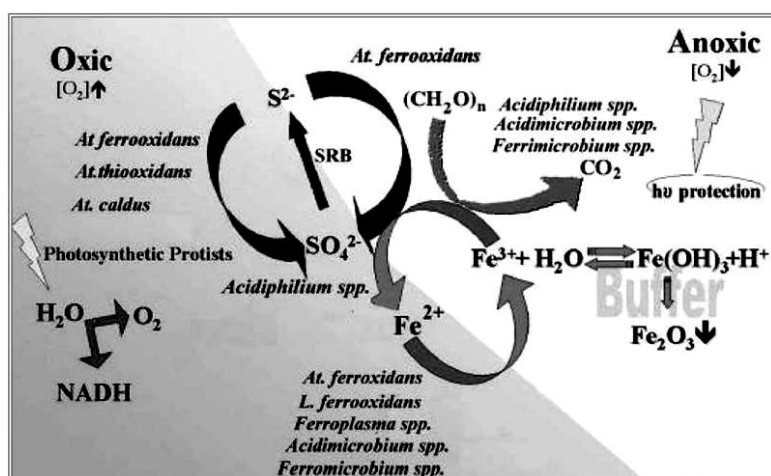
A Rio Tintóban a legfontosabb fotoszintetikus primer termelők az acidofil algák. Ezeknek a mikrobáknak speciális alkalmazkodásra van szükségük, hogy ellenálljanak az alacsony pH-értéknek és a nehézfémek erős koncentrációinak. Mint már korábban kijelentettük, a Rio Tinto ökoszisztéma biomassza 65% -át az acidofil algák teszik ki. Az azonosított organizmusok a Bacillariophyceae (Diatoms), Chlorophyta (Chlamydomonas, Klebsormidium és Zignema), Euglenozoa (Euglena) és Rhodophyta (Galdieria).

Ezek a mikrobák képesek saját ételmüket előállítani azáltal, hogy a napfényből energiát nyernek. Ezzel az energiával képesek a szén rögzítésére és a túléléshez szükséges egyéb feladatok elvégzésére.

A Rio Tinto elsődleges fogyasztói az eukarióta heterotróf protisták. Ez azt jelenti, hogy sejtmaggal rendelkező szervezetek (eukarióta), és szerves szént használnak a növekedéshez, mivel nem képesek saját ételmet előállítani (Heterotroph). A Rio Tinto-ban a fogyasztók legnagyobb csoportja az eukarióta heterotrófikus protisták. Ezekre az organizmusokra példák a Lobosea (amfibia Rhizopoda) osztályba tartozó amőbák, flagelátok, néhány Heliozoa osztályból (phylum Actinopoda) és ciliátokból (phylum Ciliophora), amelyek főként biofilmekkel társulnak.

A Rio Tinto ökoszisztémában a legtöbb lebontó anyag gombák vagy élesztők. A legfontosabb savas gombás csoport a dematiaceus csoporthoz tartozott. Ide tartoztak a Bahusakala, a Heteroconium, a Phoma és a Scytalidium nemzetség tagjai is. Eddig a Penicillium spp. Tizenhat különböző formáját is kimutatták. Hét különféle élesztőgént találtak a vízrendszerben: Candida, Cryptococcus, Holtermannia, Leucosporidium, Tremella, Rhodotorula és Hansenula.

Ezek a mikrobák heterotróf jellegűek, és elhullott szervezetektől függenek, hogy szén- és egyéb tápanyagokat nyerjenek maguk fenntartásához.



(forrás:
[microbewiki.kenyon.edu/
 index.php/Rio_Tinto_
 \(Spain\)](http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Rio_Tinto_(Spain))

Iron and Sulfur transformations mediated by microbes

Az Astrobiológiai Központ (CAB, INTA-CSIC) csapata elemezte az ilyen jellegű környezetet a Földön, a kénnel és a natrojarosite-ként nevezett ásványi anyagokkal kapcsolatos sólerakódásokat, amelyek Huelva-ban a Río Tinto-medencében található.

Mikroszkópos technikák és molekuláris ökológia segítségével a csapat felfedezett egy olyan baktérium- és algásfilmet, amely só „mikronichékben”, szabad szemmel láthatatlanul él. Legalább öt különböző morfológiát találtak a Dunaliella és a Cyanidium nemzetséghez tartozó mikroorganizmusokból. A vizsgált lerakódásokat mindössze néhány milliméter szélességű rétegek alkotják, melyek a Río Tinto furcsa környezetét és a szokásostól eltérő „teljesen más” ökoszisztémáját alakítják ki.

A Földön a CAB csapata extrém sókörnyezetet tanulmányozott a Chott el Djerid-tó (Tunézia) és az Atacama-sivatag (Chile) alatt.



(fotó: Leslie Mullen, podarilove.ru/hu/krovavaya-reka-rio-tinto-rio-tinto-mertvaya-reka-v-ispanii/)

„A Río Tinto-ban talált baktériumok azt mutatják, hogy a vasvegyületek jelenléte ténylegesen védi az életet. Ez azt jelentheti, hogy az élet a Földön korábban kialakult, mint gondoltuk. Ezek a hatások szintén fontosak a Mars felszínén az élet kialakulásához.”

A csapat azt is megállapította, hogy a só stabil körülményeket biztosít, amelyek lehetővé teszik az élet túlélését nagyon extrém környezetben.

„A sórétegek védelmet nyújtanak a hőmérséklet és a páratartalom ingadozásokkal ellen, és a sólerakódásban az ultraibolya sugárzás dózisa nagyon alacsony,” magyarázta Felipe Gómez a „Planetáris és űrkutatás” folyóiratban megjelent tanulmány társszerzője.

Mikroszkópos technikák és molekuláris ökológia segítségével a csapat felfedezett egy olyan baktérium- és algásfilmet, amely só „mikronichékben”, szabad szemmel láthatatlanul él. Legfeljebb öt különböző morfológiát találtak a Dunaliella és a Cyanidium nemzetséghez tartozó mikroorganizmusokból. A vizsgált lerakódásokat mindössze néhány milliméter szélességű rétegek alkotják.

A Tinto folyó biológiájának kiderítése segíthet megérteni a korai élet fejlődését a Földön. Például a Tinto folyó valós modell lehet a proterozoikum idejében (2,5 milliárd - 544 millió évvel ezelőtt), mivel az aerob algák először a proterozoikum során jelentkeztek. A Tinto folyó biológiájának kiderítése segíthet Amilsnek és másoknak megérteni a korai élet fejlődését a Földön. Például a Tinto folyó valós modell lehet a proterozoikum életében (2,5 milliárd - 544 millió évvel ezelőtt), mivel az aerob algák először a proterozoikumok során jelentkeztek.

A legfrissebb molekuláris bizonyítékok utalnak a 2,7 milliárd évvel ezelőtti időben élt algák létezésére az ausztráliai Pilbarában illetve a 2,7 milliárd évvel ezelőtt kialakult Kenorland neoarchaikumi gránit kratonokból (a szárazföldek embrionális ősei, más szóval a Föld pajzsterületei) és új kontinentális kéregből kialakult földterületen.

Bizonyítékok vannak a Pilbarai kén ciklus teljes működésére is, amelynek oxidációja és redukciója (vagy redox reakciói) 3,5 milliárd évvel nyúlik vissza. „Pilbarában nagy mennyiségű vas csapódott ki, és ezek az összetevők ebben a pillanatban működnek a Rio Tinto-ban” - mondja Amils.

„Az egyetlen különbség az, hogy az ausztrál régészeti rendszer sekély tengeri környezetben volt, míg a Rio Tinto földi vízrendszernek felel meg.”

Dr. Ricardo Amils szerint azonban a Tinto folyó biológiája még mélyebben kapcsolódhat a múltban, az archeai korszakhoz (3,8–2,5 milliárd évvel ezelőtt).



„A Rio Tinto-ban manapság napjainkban megtalálható biológiai mikrobák többsége valószínűleg az régebbi földtörténeti korokban is létezett” - mondja Ricardo Amils az alkalmazott mikrobiológiai laboratórium igazgatója a madridi Autonóm Egyetem Molekuláris Biológiai Központjában.

(fotó: Leslie Mullen, podarilove.ru/hu/krovavaya-reka-rio-tinto-rio-tinto-mertvaya-reka-v-ispanii/)

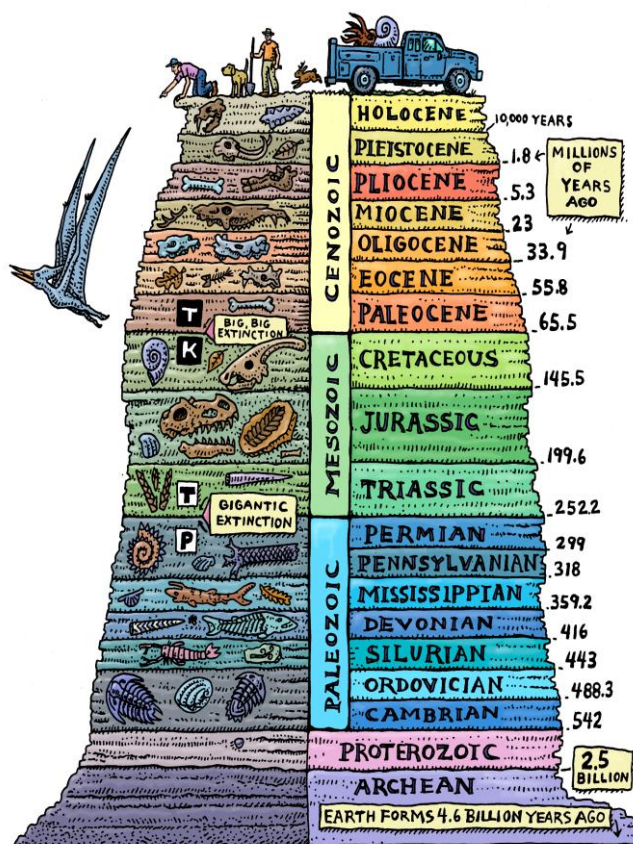
Az élet korai nyomainak keresése a Földön

A földi élet történetét a fossziliák (latin „fossus” = kiásott) tanúsítják.

A fossziliák vagy más néven ősmaradványok, ősseletek, az állatok, növények vagy más élő szervezetek megkövesedett (petrefaktum) vagy egyéb módon megőrződött maradványai, illetve lenyomatai (nyomfosszília például a lábnyom, ásásnyom).

Az élet keletkezésének ideje 4,3-3,5 milliárd évvel ezelőtti időszakra tehető.

Geológiai időskála

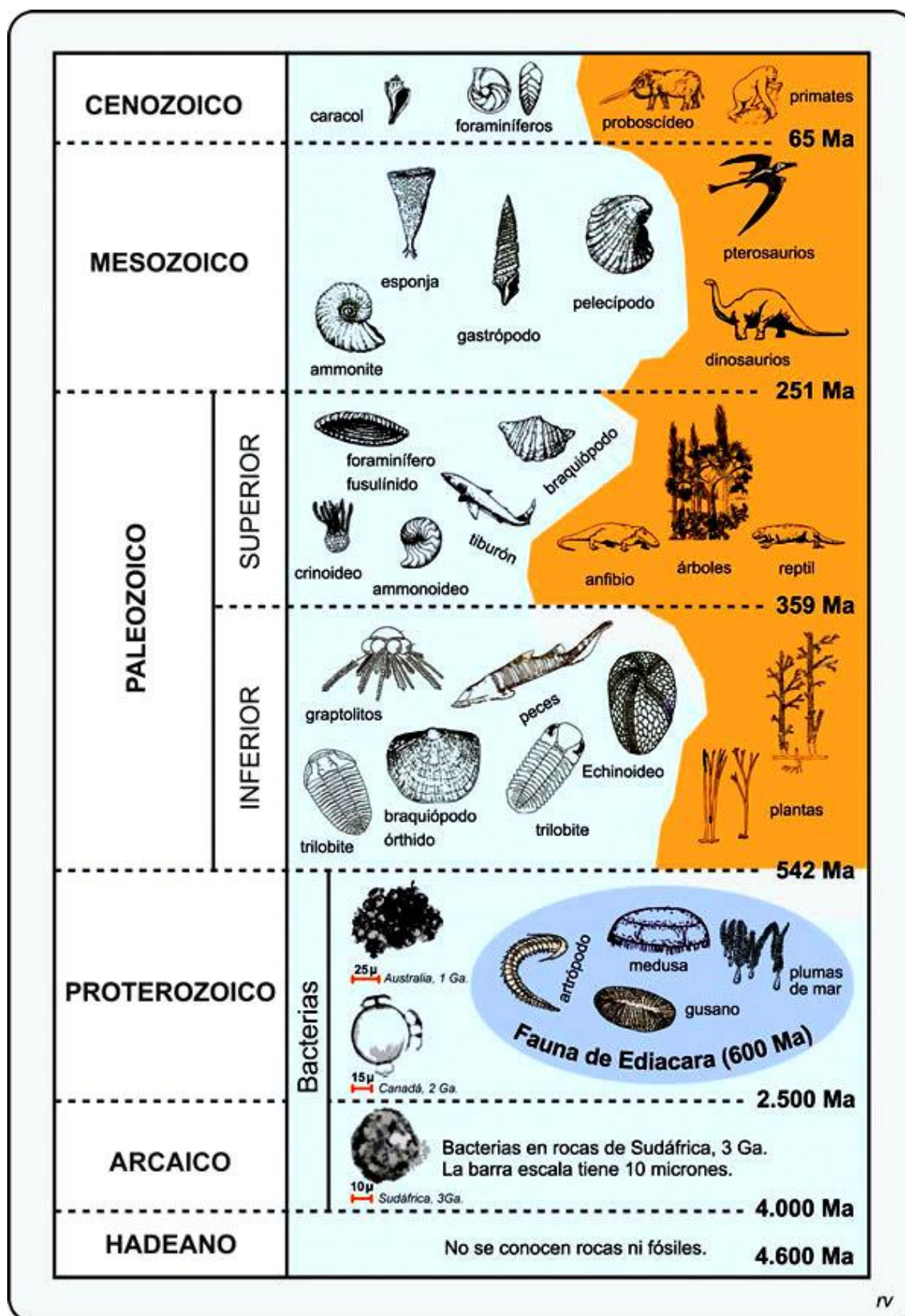


(forrás: Ray Troll's, greenforecast.com/what-is-the-geologic-time-scale/)

Az őslénytan – idegen szóval paleontológia (görög paleo, „rég”, ontosz „létező” és logosz, „tudás” szavakból) – a történelem előtti életformák tanulmányozásának tudománya fossziliák felhasználásával. A fossziliák lehetnek testfossziliák, lábnyomok, járatok, testrészek, fosszilizálódott ürülék (koprolit), palinomorfok, és kémiai maradványok.

A „recens” flórát és faunát azok a növényi, illetőleg állati szervezetek képviselik, amelyek a jelenkori szárazföldeket és tengereket benépesítik. A recens flóra és fauna őseinek, vagyis mindazon szervezeteknek maradványait, melyek a geológiai multban éltek, s a geológiai mult szárazföldeit és tengereit benépesítették, fossziliáknak, vagyis ősmaradványoknak nevezzük.

A fosszilia elnevezés általában a föld rétegeiből kikerülő összes, növényi és állati maradványokra vonatkozik, s jelentése „ásatag maradvány”, tekintet nélkül a maradvány megtartási állapotára. A „kövület” elnevezés csak a fossziliák egyik változatára: a megkövesedett maradványokra vonatkozik.



(fórrás:

profedebioantoniaherrera.wordpress.com/2017/01/25/interpretacion-cortes-geologicos/fosiles-guia/, és www.slideserve.com/kelton/el-casi-incomprensiblemente-largo-tiempo-geol-gico-grandes-hitos-en-la-historia-del-la-tierra, és www.insugeo.org.ar/libros/misc_21/07_fig07-2.jpg)

Teljes ősmaradványok esetében az anyag és az alak is megmarad. Ilyen pl. a jégbe fagyott mamut, amelyet Szibériában találtak. Ilyenek az egyes gerincescsontok és a megkövesedett fatörzsek, bár ezeknél az eredeti anyag sokszor másra cserélődik, általában szilícium-dioxidra.



(siberiantimes.com/other/others/news/packed-and-ready-the-worlds-best-travelled-woolly-mammoth-goes-down-under/, és 9gag.com/gag/arGoLLX)

Jégbe fagyott mamut, Szibériából

12 millió éves imádkozó sáska borostyánban.

Bizonyos szempontból teljes fossziliáknak tekinthetők a megkövült vázmaradványok a kagylóhéjakat, csigaházakat, korallokat.



(forrás: saját fosszília gyűjteményből)

Mamut fog. Felső-pleisztocén korból (kb. 100 ezer év), (Bugyi-Kavicsbánya, Magyarország)

Flabellipecten Leythajanus, Kagyló kőület

Lenyomat kialakulásakor az eredeti anyag kioldódik, eltűnik, csak „negatívja” marad meg a beágyazó kőzetben. A legtöbb lenyomat lapított testfelépítésű élőlényektől (pl. halak), vagy lapos szervektől, testrészektől (levelek, kagylóhéjak stb.) származik.



(forrás: www.geologyin.com/2018/01/the-largest-insect-ever-existed-was.html) Ginkgo Biloba levél és Meganeura lenyomat

Kőbelek formájában főképpen az egykori puhatestű élőlények (csigák, kagylók, fejlábúak) maradnak meg. A szilárd váz által közrefogott tér valamilyen anyaggal kitöltődik, a héj pedig lebomlik. A héj mintázata a kőbél felületén díszítésként maradhat meg.



Ceritnium Subcovinum toronycsiga darab Eocén kor (60 millió éves fossilia), Budakeszi



Campanile sp.kőbelei eocén üledékéből.

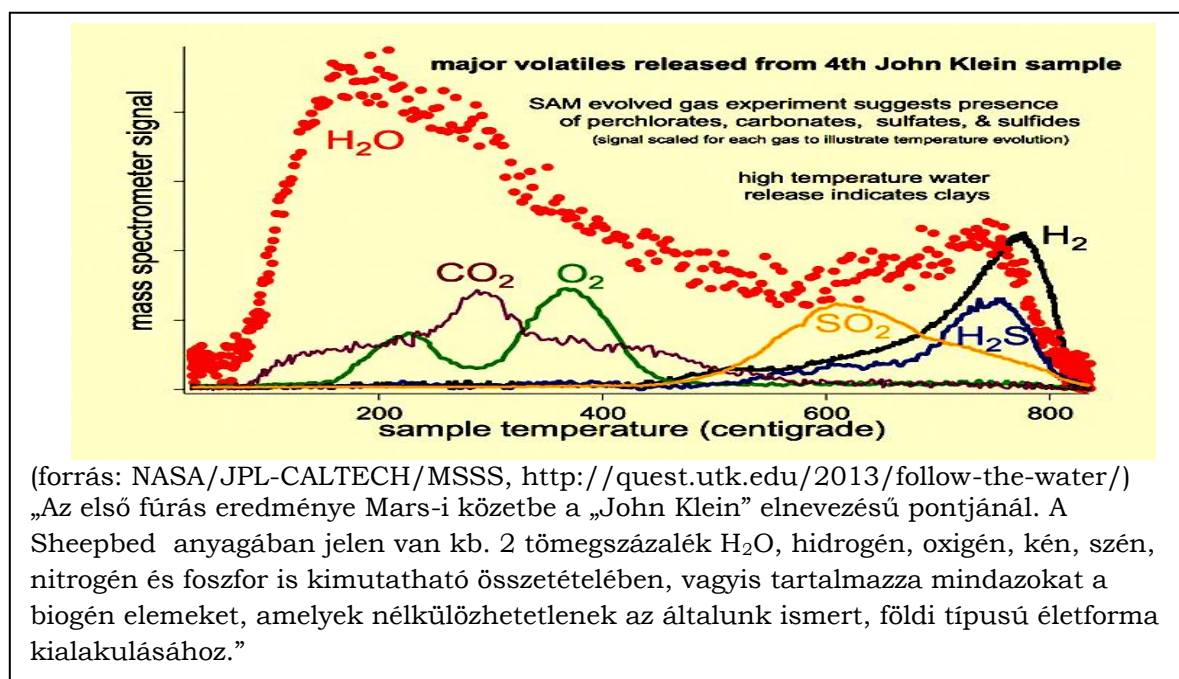


Kagylóbél fosszilia, Bulgária

(forrás: saját fosszilia gyűjteményből)

Bioszignatúra (kémiai fosszilis vagy molekuláris fosszilis), bármely olyan anyag - például elem, izotóp , molekula vagy jelenség -, amely tudományos bizonyítékot szolgáltat a múlt vagy jelen életre . Az élet mérhető jellemzői közé tartoznak összetett fizikai és kémiai struktúrái, valamint a szabad energia hasznosítása, valamint a biomassza és a hulladékok előállítása. Egyedülálló tulajdonságai miatt a bioszignatúra úgy értelmezhető, mint amelyet élő szervezetek hoztak létre; Fontos azonban, hogy ne tekintsenek véglegesnek, mert nem lehet előre tudni, hogy melyek az életben egyetemesek, és amelyek egyedülállóak a Föld sajátos körülményeire. Mindazonáltal az életformákról ismert, hogy egyedülálló vegyi anyagokat, köztük DNS -et bocsátanak a környezetbe, mint bizonyíték arra, hogy jelen vannak egy adott helyen.

Néhány kapcsolódó tudományágak, mint a geokémiai, geobiológia és geomicrobiology gyakran bioszignatúrát keresnek annak meghatározására, hogy az élő organizmusok vannak vagy voltak jelen a mintában. Ezek a lehetséges bioszignatúrák a következők: a) mikrofosziliák és stromatolitok; b) szerves anyagok molekuláris szerkezete (biomarkerek) és szén, nitrogén és hidrogén izotópos összetétele; c) az ásványi anyagok többszörös kén- és oxigénizotóp-aránya; és (d) redoxérzékeny fémek (pl. Fe, Mo, Cr és ritkaföldfém elemek) bőségbeli kapcsolatai és izotópos összetételei.



(forrás: Az élet kialakulásának kutatása a Naprendszerben,
<http://mek.oszk.hu/13200/13212/>)

Példa a biomarkerek keresésére a Curiosity Rover marsjáró első talajjellemzéseinek eredményeinek elemzéséből.

Életnyomok rendkívül változatosak: férgek mászásnyomai, legelési nyomok (itt valójában a megkövesedett ürülék maradt meg), homokba, iszapba vájt lakóhelyek nyomai, lábnyomok stb. Fossziliának számítanak az egykori életműködések nyomai is.



(forrás: tamop412a.ttk.pte.hu/files/biologia5/Evolucio/chunks/ch14s04.html, és <http://www.ediacaran.org/trace-fossils.html>)

Nyomfosszília (*Treptichnus pedum*), kora a legfiatalabb Ediakara biótáéval egyezik meg és jobb oldali ábra *Helminthoidichnites* nyomfosszília, Ediacara.



(forrás: fotó: Greg Willis, www.nhm.ac.uk/discover/dinosaur-footprints.html)

Dinoszaurusz lábnyom fosszília, 115 millió éves (Ausztrália).
A közepes méretű theropoda lábnyomát 2006-ban találták meg őslénykutatók a Victoria állambeli Flat Rocksban – egyike a sarki vagy jégkorszaki dinoszaurusz lelőhelynek a világon.

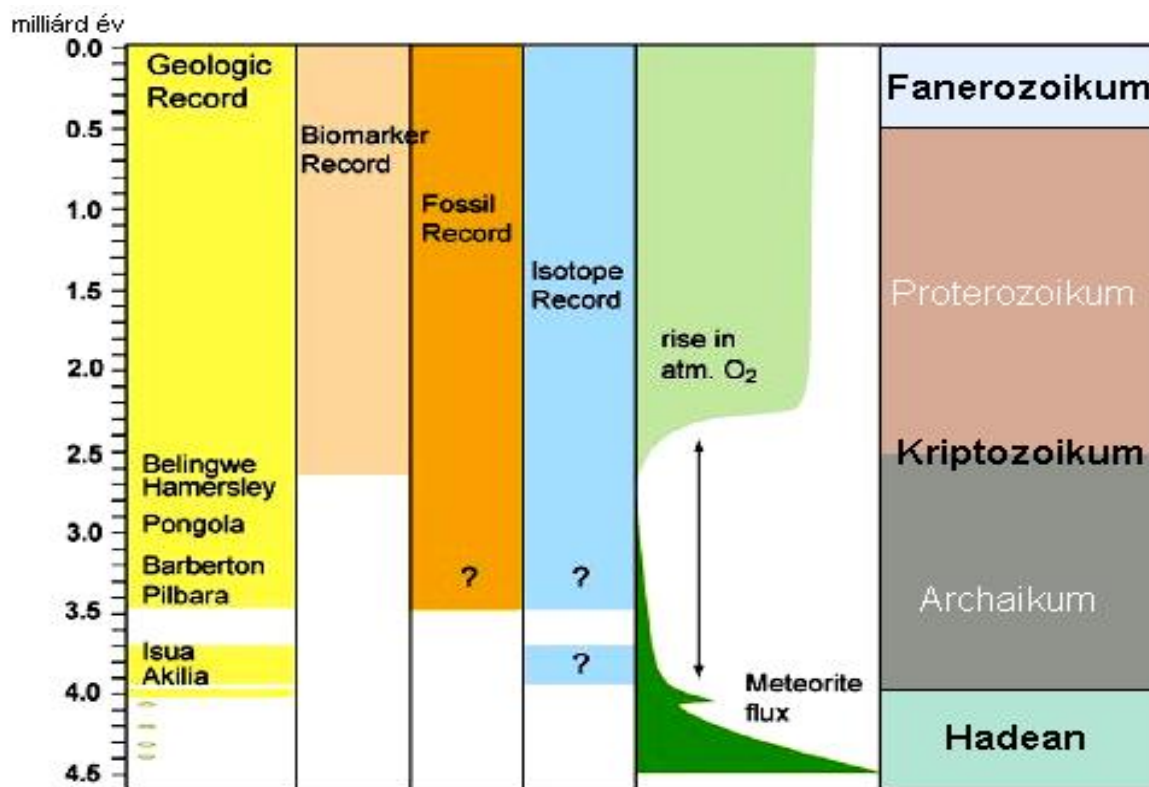
A Fossilizáció ritkán fordul elő, mivel az élőlények legtöbb része nem sokkal a halál után bomlásnak indul. Ahhoz, hogy egy szervezet fossilizálódjon, rövid időn belül le kell fagynia vagy ki kell száradnia, illetve üledékbe, gyantába vagy más, a test külvilágtól való elzárására alkalmas anyagba kell kerülnie (például egy tófenékre).

A fossziliáknak többféle fajtája létezik és a fossilizációs folyamat többféle módon is végbemehet. A fossilizáció leginkább a kemény testrészekkel rendelkező, elterjedt és hosszú időn át fennmaradó élőlényeknél fordul elő. Tehát az apró, puhatestű, szűk életterű és rövid életű fajok fossziliái ritkán kerülnek elő.



(forrás: saját fosszilia gyűjteményből)

A földi élet kezdeti kialakulásának főbb eseményei



(ábra: Mark van Zuilen: „La Société Française d’Exobiologie- Traces of Early Life – A Geochemist’s View” 2006. március 24. nyomán, www.exobiologie.fr/index.php/vulgarisation/geologie-vulgarisation/traces-of-early-life-a-geochemists-view/)

A gyakori meteorit becsapódások miatt a Föld Hadean eon geokronológiai idején, kb. 4,5-3,9 milliárd évvel ezelőtti időszakban az élet nem létezik, vagy gyakran elpusztult.

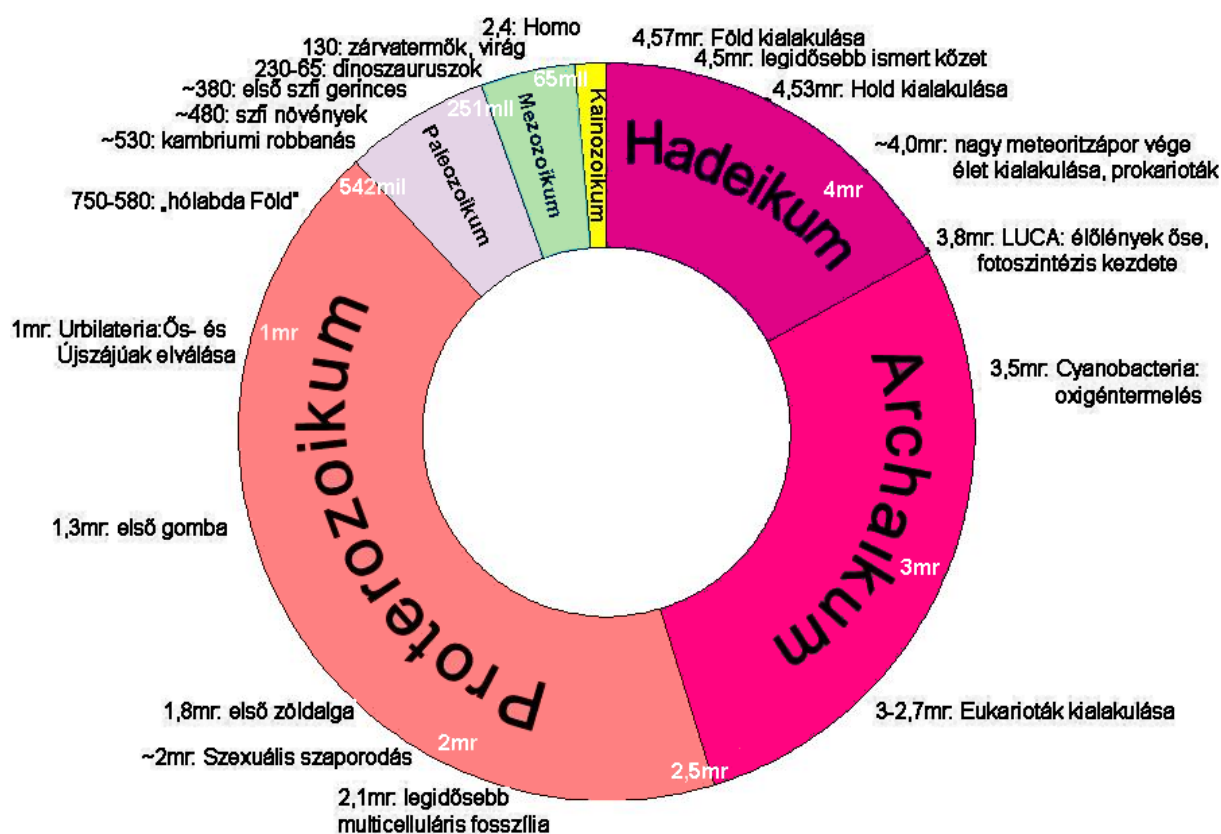
A Föld és a Hold geológiai vizsgálataiból tudjuk, hogy az élet nagyon gyorsan (pár száz millió év alatt) létrejött, nagyjából a heves meteorzápor időszakának végetérésekor (újabb izotopvizsgálatok szerint 3,87 milliárd évvel ezelőtt). Ebből arra lehet következtetni, hogy az élet többször is létrejött, aztán nagy katasztrófák (pl. becsapódások) mindig eltörölték, míg egyszer végül megvetette a lábát.

A légköri oxigénszint kb. 2,4 milliárd évvel ezelőtt az oxigéntermelő fotoszintetizáló baktériumok elszaporodásának következtében ugrásszerű emelkedésnek indult.

A régebbi sziklákban a metamorfózis elpusztította a bizonyítékokat vagyis a molekuláris biomarkereket és bizonytalaná teszi a microfosziliák és szén izotóp leletek kiértékelését, az élet létezésének megállapítását.

A Münster-i és a Cambridge-i Egyetem, valamint a Zürich-i Műszaki Főiskola tudósaiból álló csoport a frissen kialakult Föld más égitestekkel való összeütközéseinek nyomait vizsgálták. „Vizsgálataink azt mutatják, hogy a Föld 20-90 millió évvel fiatalabb, mint azt eddig feltételezték” - közölte Thorsten Kleine, a Münsteri Paleontológiai Intézet kutatója.

Eddig a kutatók abból indultak ki, hogy a Föld 4,563 milliárd évvel ezelőtt keletkezett, az új eredmények alapján azonban kora 4.54 ± 0.05 milliárd évesre tehető.



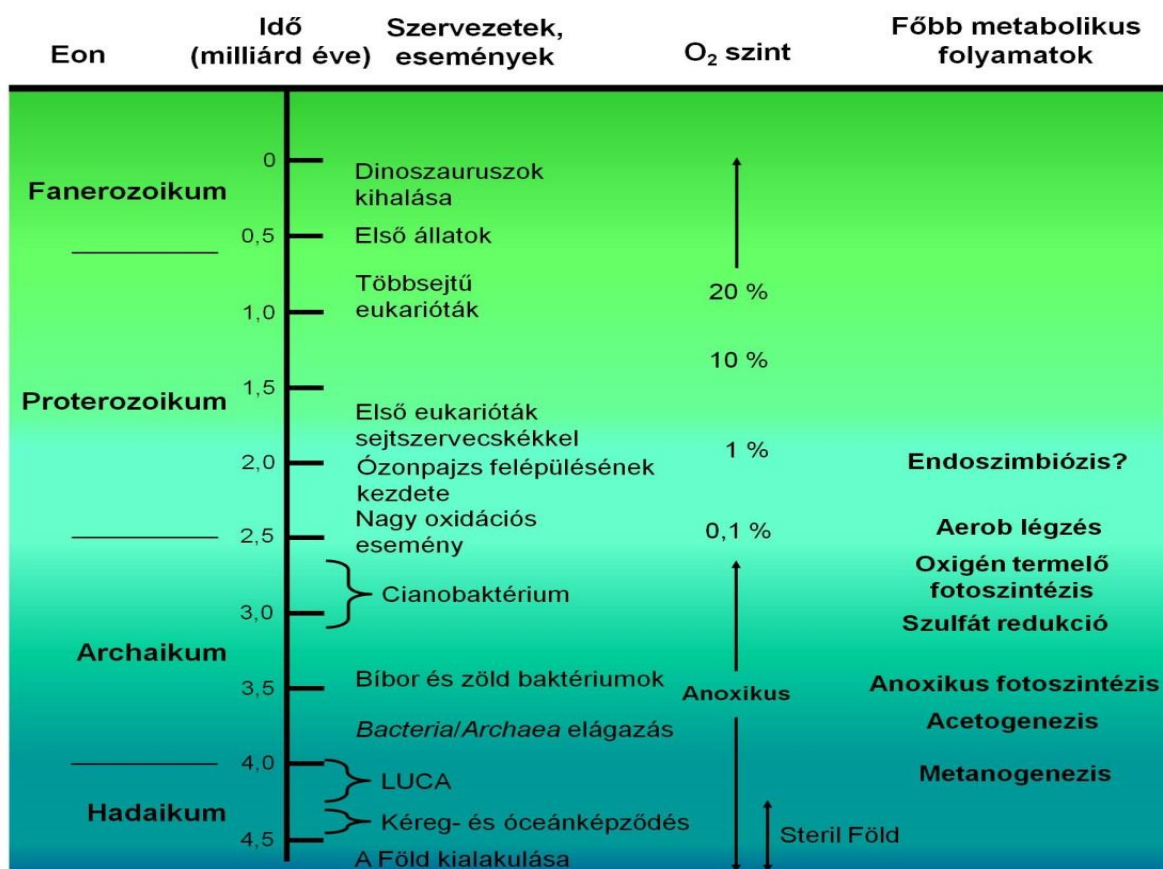
(forrás: Hoffmann Gyula, Mátics Róbert: Élet a Földön – történeti földtan <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/out/html-chunks/ch14s03.html>)

A Föld története a nap 24 órájához arányosítva, a bioszféra kiemelt eseményei.

A „Nagy Bumm” (Ősrobbanás) és az univerzum keletkezése kb. 13,7 milliárd évvel ezelőtre tehető, ez egyenértékű majdnem 3 nappal. Az ember kb. 2 millió éve jelent meg Földünkön, a 24. óra előtt kb. 1 perccel. A földtörténeti időskálán a legnagyobb időegységek az „eon”-ok (görög aion szóból származik, ami „kor”-t jelent).

Idő	Időszak	Kor	Időtartam (millió éve)
Újidő (Kainozoikum)	Negyedidőszak (Quarter)	Holocén	0,01
		Pleisztocén	2,6
	Harmadidőszak (Tercier)	Pliocén	5,3
		Miocén	23
		Oligocén	34
		Eocén	56
		Paleocén	66
Középidő (Mezozoikum)	Kréta	145	
	Jura	201	
	Triász	252	
Óidő (Paleozoikum)	Perm	299	
	Karbon	359	
	Devon	419	
	Szilur	443	
	Ordovícium	485	
	Kambrium	541	
	Proterozoikum	2500	
Prekambrium	Archaikum	4000	
	Hadaikum	4500	

(forrás: <https://mek.oszk.hu/13200/13212/>)



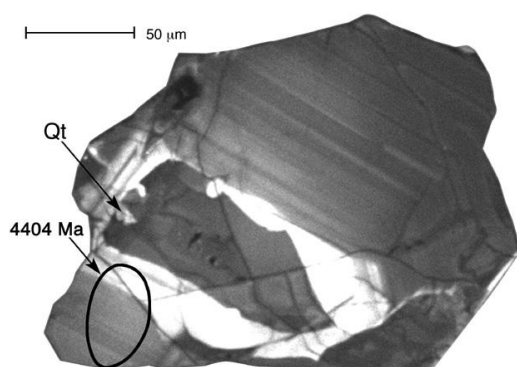
(forrás: regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0073_bevezetes_prokariotak_vilagaba/ch02s02.html)

Hadaikum (4 600 – 4 000 millió évvel ezelőtt)

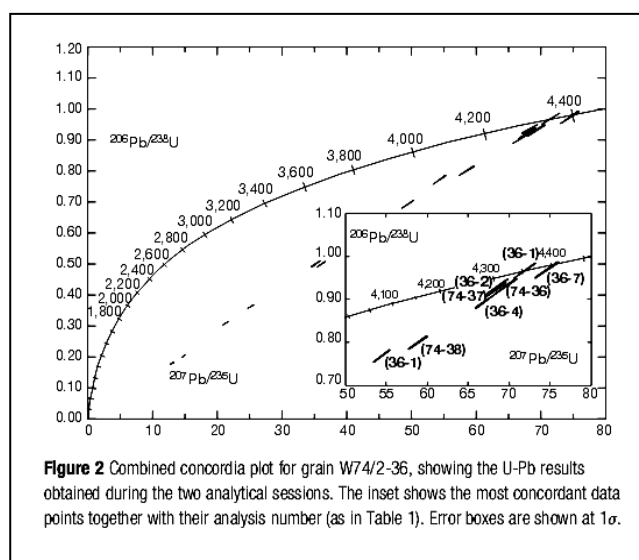
A kutatók egy Nyugat-Ausztráliából (Jack Hills) származó szikladarabot vizsgáltak, amely 3,060 milliárd éves volt. A Kaliforniai Egyetem ionos mikroelemző berendezésével azonban hamarosan felfedezték, hogy a sziklában jóval régebbi eredetű, mikroszkópikus ásványszemcsék, cirkonzemcsék vannak.



(forrás: mttmuzeum.blog.hu/2012/03/06/nagyon_idosek_otthona)
Metakonglomerátum, Jack Hills, Ausztrália



(forrás: John W. Valley
University of Wisconsin)
cirkon szemcse W74/2-36
4,404 milliárd éves



(forrás: Simon A. Wilde, John W. Valley, William H. Peck, Colin M. Graham:
Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago, Nature 2001. január 11., Vol 409.)

A felső képen körökkel jelzett helyeken határozták meg az oxigénizotópok részarányának meghatározásával megkállapították, hogy, 4,404 milliárd évesnek, és mintegy tucatnyi pedig 4 milliárd évesnél idősebbnek adódott. A cirkon (cirkónium-szilikát, $ZrSiO_4$) kemény, ellenálló, tetragonális kristályrácsú, erős fénytörésű ásvány. A cirkonkristályok leggyakrabban magmás eredetű (szilikátos olvadék megszilárdulásából keletkező) gránitközetekben fordulnak elő, s állandóságuk miatt különösen alkalmasak kormeghatározásra. A szemcsék korát a bennük kimutatható radioaktív uránizotópok és bomlási végtermékeik (ólomizotópok) részarányaiból határozták meg.



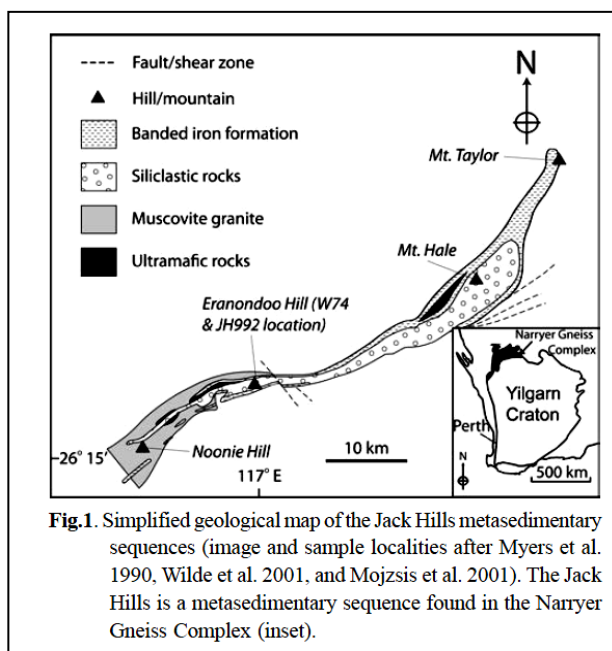
(illusztráció forrása: www.nationalgeographic.com/science/2018/09/news-earth-rocks-sediment-first-life-zircon/)



(forrása: www.thesun.ie/tech/3040331/the-great-dying-revealed-how-a-huge-volcanic-eruption-wiped-out-90-of-earth-species/)

Illusztráció, a 4,4 milliárd évvel korábbi helyszínen feltételezett képét mutatja.

A nyugat-ausztráliai Jack Hills területéről származó gyémántszemcsékben olyan kémiai jellemzőket azonosítottak, amelyek 4,4 milliárd éve létezett élőlények tevékenysége nyomán alakulhattak ki.



(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Narryer_Gneiss_Terrane)

(forrás: Dustin Trail, E. Bruce Watson, Nicholas D. Tailby: Insights into the Hadean Earth from Experimental Studies of Zircon, Journal Geological Society of India, Vol.81, May 2013, pp.605-636.)

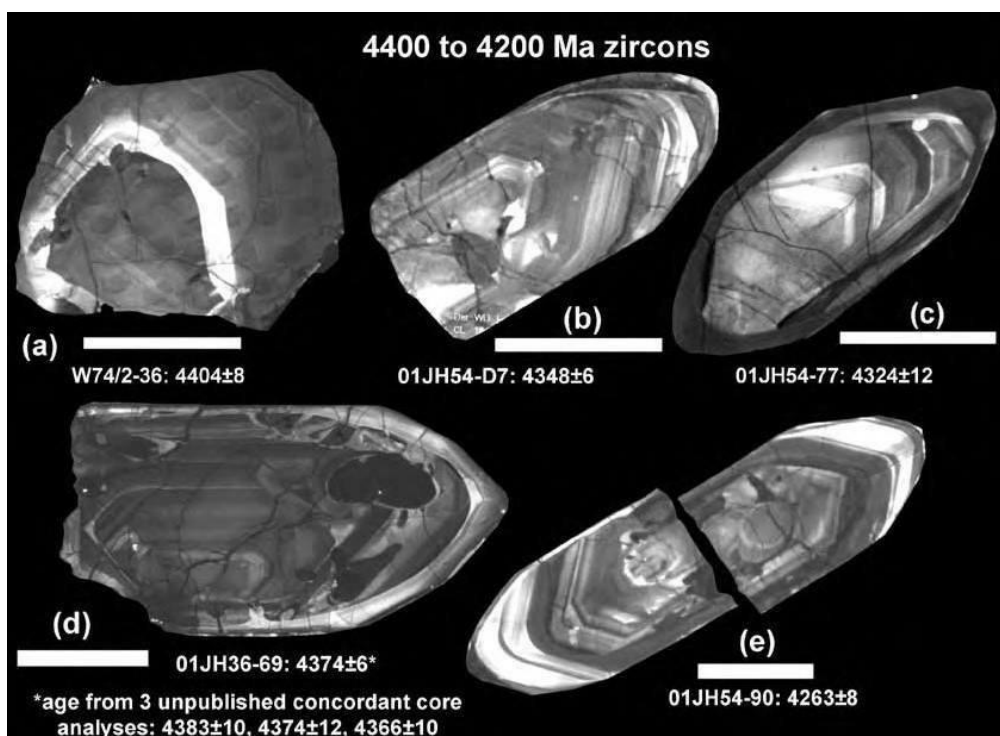


Jack Hills sedimentary belt
(üledékes, szedimentes övezet,
Nyugat Australia)



(forrás: Museum Victoria)

Homokkő beágyazott cirkónia, Eranondoo Hill közeléből, Jack Hills,



(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Oldest_dated_rosks, geology.wisc.edu/~wiscsims/pdfs/Cavosie2007proofs.pdf)

Enynyire ősi minták csak rendkívül ritkán kerülnek elő, mivel a kőzetek állandó körforgása közben a felszíni rétegek gyakran lesüllyednek a forró köpenybe, majd átalakulva újra felbukkannak.

A gránittömb is, amelyben most a cirkonkristályokra rábukkantak, jóval fiatalabb, „mindössze” 3 milliárd éves, és több, különféle korú kőzet töredékeit tartalmazza.

3,9 milliárd évvel ezelőttig - a Földet állandó, erős meteorit- és üstökösbombázás érte, nagyjából 4,4 milliárd éve pedig egy Mars-méretű kisbolygóval ütközött: ebből a katasztrófából született a Hold.

Mindez felveti azt a kérdést, vajon megszülethetett-e az élet már abban a korai időszakban?

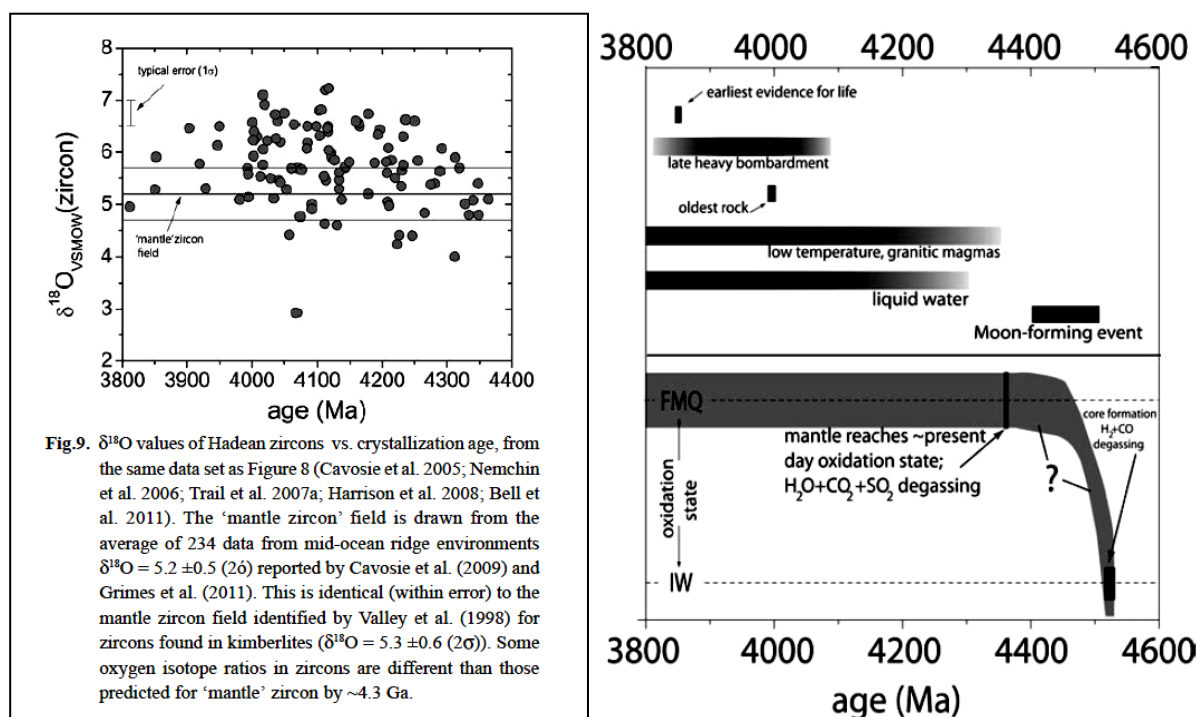
A legrégebbi biokémiai bizonyságok és óceánok létezésére utaló jelek 3,85 milliárd évesek, a legöregebb mikrofoszília 3,5 milliárd éves. Ez azonban nem zárja ki, hogy akár átmeneti jelleggel, elpárologva majd újraszületve ennél korábban is létezhetek nagyobb, összefüggő víztömegek, amelyekben megkezdődhetett az élet kialakulása.

Az új adatok szerint már 4,4 milliárd évvel ezelőtt kialakult a szilárd kontinentális kéreg, az intenzív meteoritbecsapódások ellenére. A cirkonszemcse víz-kőzet kölcsönhatás nyomait mutatja.

"Ha ezek a feltételek a Földön ilyen hamar kialakulhattak, akkor egyáltalán nem tekinthetők különlegesnek, és nincs okunk feltételezni, hogy az élet kialakulása kivételes jelenség a világegyetemben."

A Nature 2001. január 11-i számában különös képet festettek a korai Földről. Az alacsony hőmérsékletre lehűlt környezetekben már óceánok hullámoztak, elkezdődött a kontinensek kialakulása, sőt talán az élet számára is kedvező feltételek alakultak ki.

A Kalifornia-i Egyetem (Los Angeles) és a Perth-i Curtin Műszaki Egyetem kutatói szerint az élet kialakulásának mindhárom nélkülözhetetlen eleme már akkor jelen volt a Föld felszínén. „Volt megfelelő energiaforrás (a Nap), itt voltak a szükséges kémiai alapanyagok (meteorit- és üstökös-beecsapódásokból származó összetett szerves vegyületek) és a geokémikusok szerint legnehezebben megvalósuló feltétel, a cseppfolyós víz is” - sorolta T. Mark Harrison, a Kaliforniai Egyetem geokémiaprofesszora.



$\delta^{18}\text{O}$ értékei Hadean cirkónia vs. kristályosodás kor

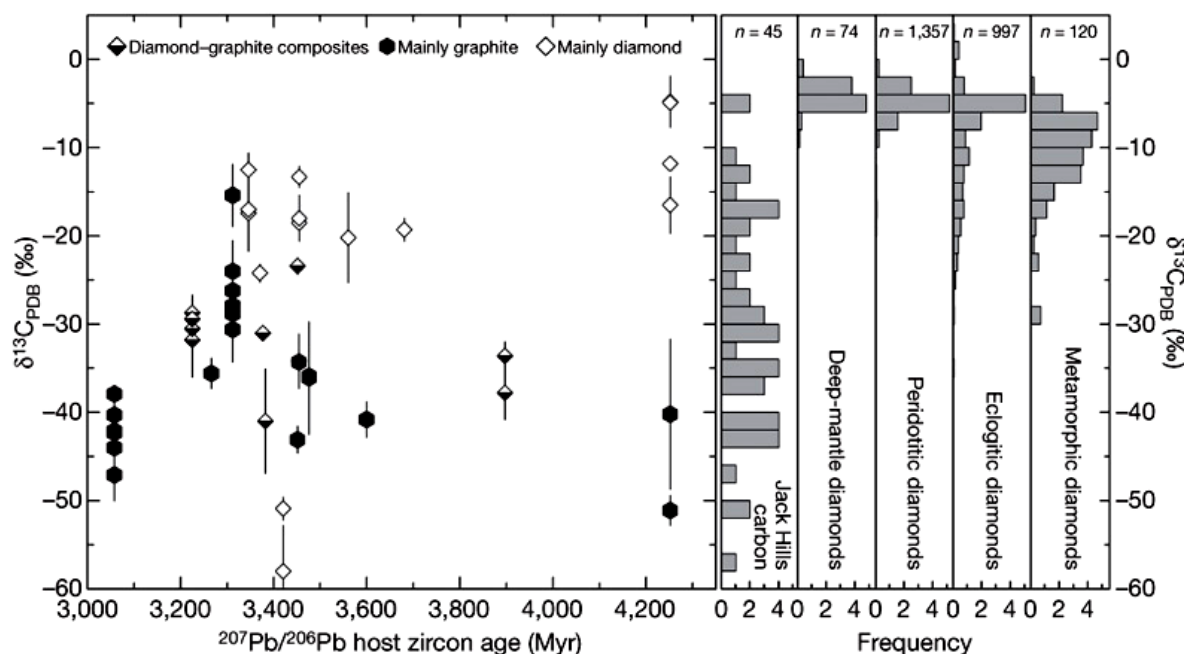
Sematikus rajz, a Hadean Föld időskála és felső köpeny oxigén fugacitás (illékonyág) fejlődése, (Delano, 2002).

(Mojzsis et al. 2001; Cavosie et al. 2005 nyomán).

$\sim 4,3$ milliárd évvel ezelőtt nagy mennyiségű folyékony víz lehet a Föld felszínén a Hadean cirkónia stabil oxigén izotópok alapján.

(forrás: Dustin Trail, E. Bruce Watson, Nicholas D. Tailby: Insights into the Hadean Earth from Experimental Studies of Zircon, Journal Geological Society of India, Vol.81, May 2013, pp.605-636.)

A cirkonkristályokba zárt drágakövekben a szénatomok különböző tömegszámú változatainak (izotópjainak) eloszlását vizsgálva azt tapasztalták, hogy a könnyebb, $\delta^{13}\text{C}$ -es tömegszámú izotóp aránya rendkívül magas. Az ilyen izotóparányokat rendszerint a szerves életformák jelenlétével hozzák kapcsolatba.



(forrás: Alexander A. Nemchin, Martin J. Whitehouse, Martina Menneken, Thorsten Geisler, Robert T. Pidgeon, Simon A. Wilde: A light carbon reservoir recorded in zircon-hosted diamond from the Jack Hills, Nature 2008. július 03., 454, 92-95, doi:10.1038/nature07102)

A kutatók a Nature folyóiratban közölt cikkükben megjegyzik: teljesen biztosan nem zárható ki, hogy az élettől függetlenül alakult ki az itt tapasztalható széneloszlás, de Dr. Alexander Nemchin (Curtin University of Technology, Bentley, Ausztrália), a kutatás vezetője szerint ha valóban az élet nyomaira bukkantak, akkor a felfedezésnek több érdekes következménye is van. Egyrészt megkérdőjelezi azt az elméletet, hogy az élet nem jöhetett létre 3,9 milliárd évnél korábban a Földön, amikor is befejeződött a bolygóképződés utolsó nagy fázisa, a bolygó felszínét pokollá változtató „nagy meteoritbombázás”. Másrészt még inkább alátámasztja azt az elképzelést, hogy a Föld ~4,6 milliárd éve történt összeállása után nagyon rövid idő alatt megjelentek rajta az első élőlények is.

A Mars-kutatás szempontjából is van jelentősége az eredményeknek. Egyrészt a kutatók által használt módszerek, illetve a vizsgálatokból nyert tapasztalatok segíthetik a marsi talajminták elemzését, az adatokat össze lehet majd vetni a földiekkel.



(illusztráció forrása: www.learningaboutelectronics.com/Articles/Weight-on-venus-conversion-calculator.php)



(illusztráció forrása: techno.bigmir.net/discovery/1593754-Uchenye-nazvali-Veneru-pervoj-obitaemoj-planetoj)

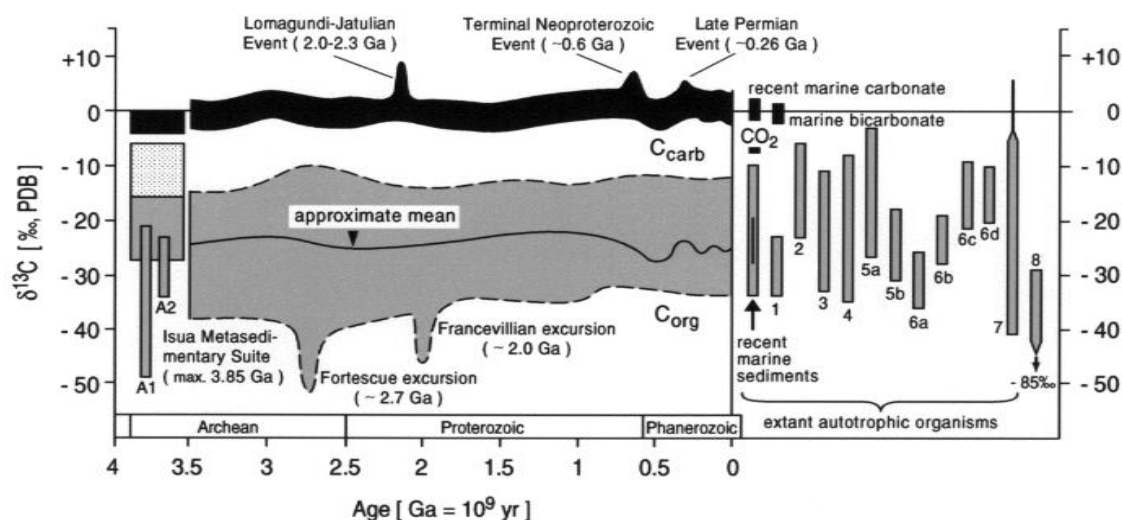
Lehetséges ~4 milliárd évvel korábbi hadaikumi tájképek.

Archaikum (4 000 – 2 500 millió évvel ezelőtt)



Illusztráció az archaikumi idő látképéről, és Isua, Grönland légi felvétel most.

A grönlandi Isua-csoport 3,8 milliárd éves üledékes és vulkáni eredetű kőzeteiben ^{12}C többlet van, azaz élőlényeknek, fotoszintézisnek kellett léteznie- olvashatjuk Manfred Schidlowski „A 3800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks” című cikkében (Nature 333, 313 – 318, 26 May 1988).



(forrás: Manfred Schidlowski „Search for Morphological and Biogeochemical Vestiges of Fossil Life in Extraterrestrial Settings: Utility of Terrestrial Evidence”)



(forrás: FMNH Li 9223, Field Museum of Natural History, Chicago, Illinois, USA, <http://www.jsjgeology.net/Isua-Greenland-BIF.htm>)

Isua supracrustal Belt (délnyugati Grönland) sávós vas formáció (BIF), 3,8 milliárd éves kőzet.

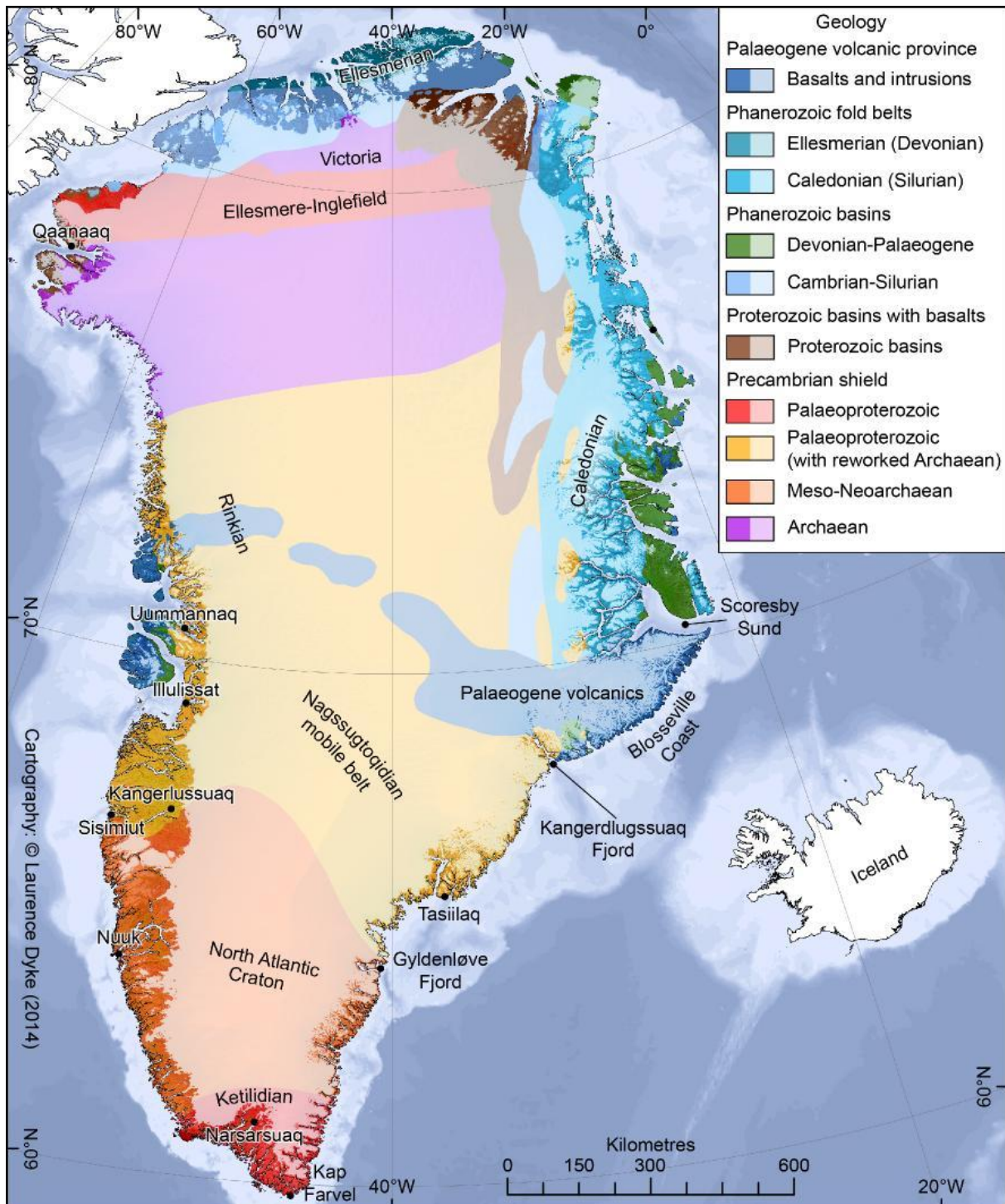
A képen látható Isua kőzet, gyengén metamorf sávós vas formáció (BIF). A világos színű rétegeknek gazdag finoman kristályos kvarc tartalma van. A sötétebb rétegeknek gazdag a vas-oxid tartalma. Ez a szikla, és más Isua kőzetek is, változó mennyiségét tartalmazzák, az ásványi grafitnak (C). De van olyan Isua kutató akik arra a következtetésre jutott, hogy a grafit sziklák a Isua supracrustal Belt kőzetekben szervesen eredetű, és a metamorf alkotott különböző kémiai reakciók (pl. metamorf bomlása sziderit, FeCO_3 eredményezik a grafit kialakulását).

Isua régió
(délnyugati
Grönland)



(forrás: Isua region of southwest Greenland ku-xlarge, és

http://warshistory.ru/wp-content/uploads/vozzrast-planeta-saturn_6.jpg)
Illusztráció, a régió 3,8 milliárd évvel korábbi lehetséges látképét mutatja.



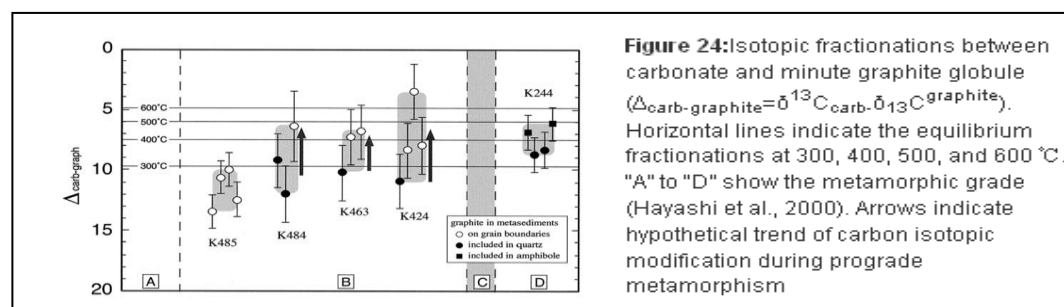
(forrás:

www.reddit.com/r/MapPorn/comments/anmjls/geology_map_of_greenland_1771_x_2125/)

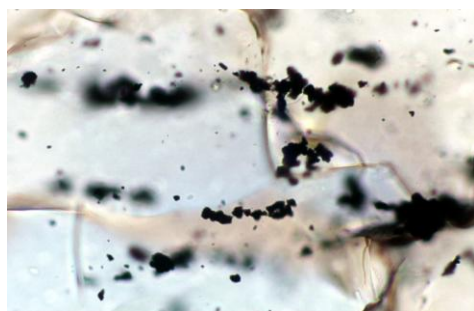
Grönland geológiai térképe



(forrás: sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0024493709001170)
Isua Supracrustal belt, Nyugat Grönland



A 3,8 milliárd éves kőzetmintában olyan szénizotóp összetételt találtak, mely szerves eredetre utal.



Grafit szemcsék egy kovakőben, az élet lehetséges nyomai.

(forrás: Yuichiro Ueno, Hisayoshi Yurimoto, Hideyoshi Yoshioka, Tsuyoshi Komiya, és Shigenori Maruyama:

„Ion microprobe analysis of graphite from ca. 3.8 Ga metasediments, Isua supracrustal belt, West Greenland: Relationship between metamorphism and carbon isotopic composition”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 66, No. 7, 2002.)

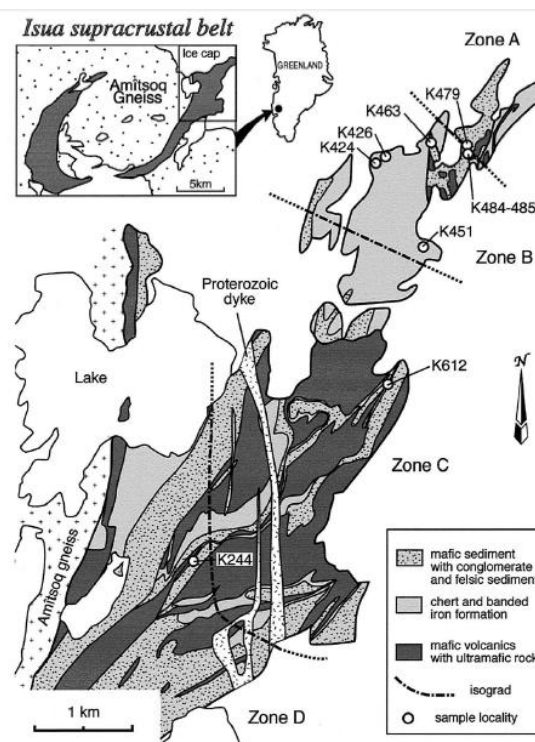
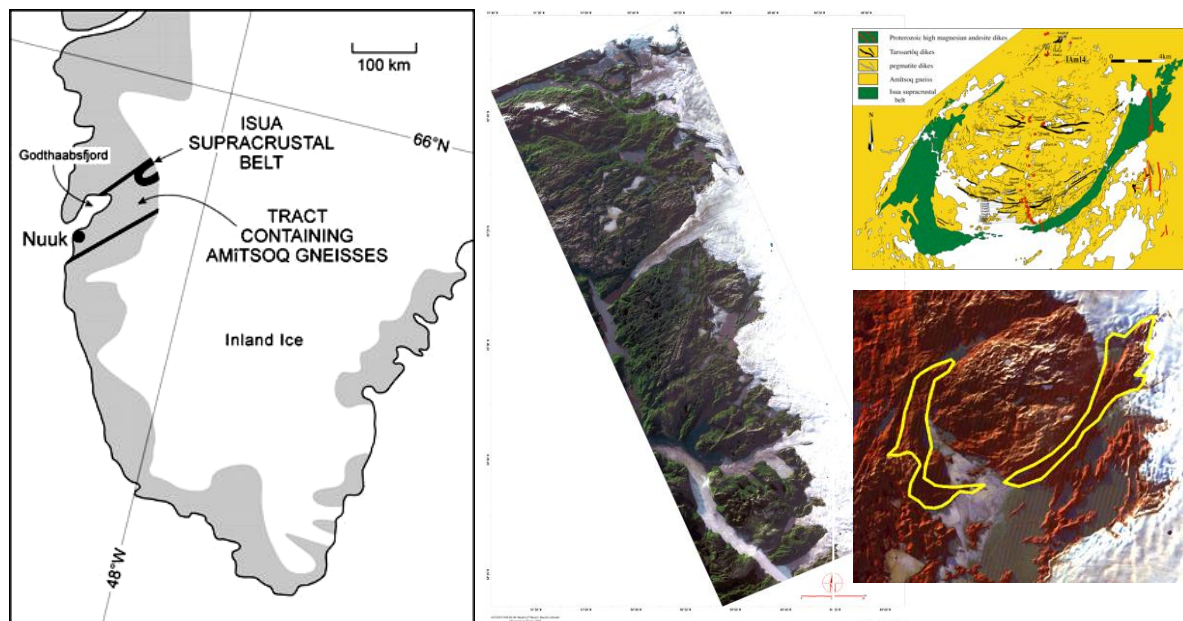


Fig. 1. Simplified geologic map of the eastern Isua supracrustal belt showing locations of metasediment samples, compiled from maps by Numan (1986) and Komiya et al. (1999). Metamorphic zonation after Hayashi et al. (2000).



(forrás: royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsnr.2009.0004, https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/Others/geoessay_htm/geoessay_e/geo_text_09_e.htm és sergijustrib.blogspot.com/2011_12_01_archive.html)

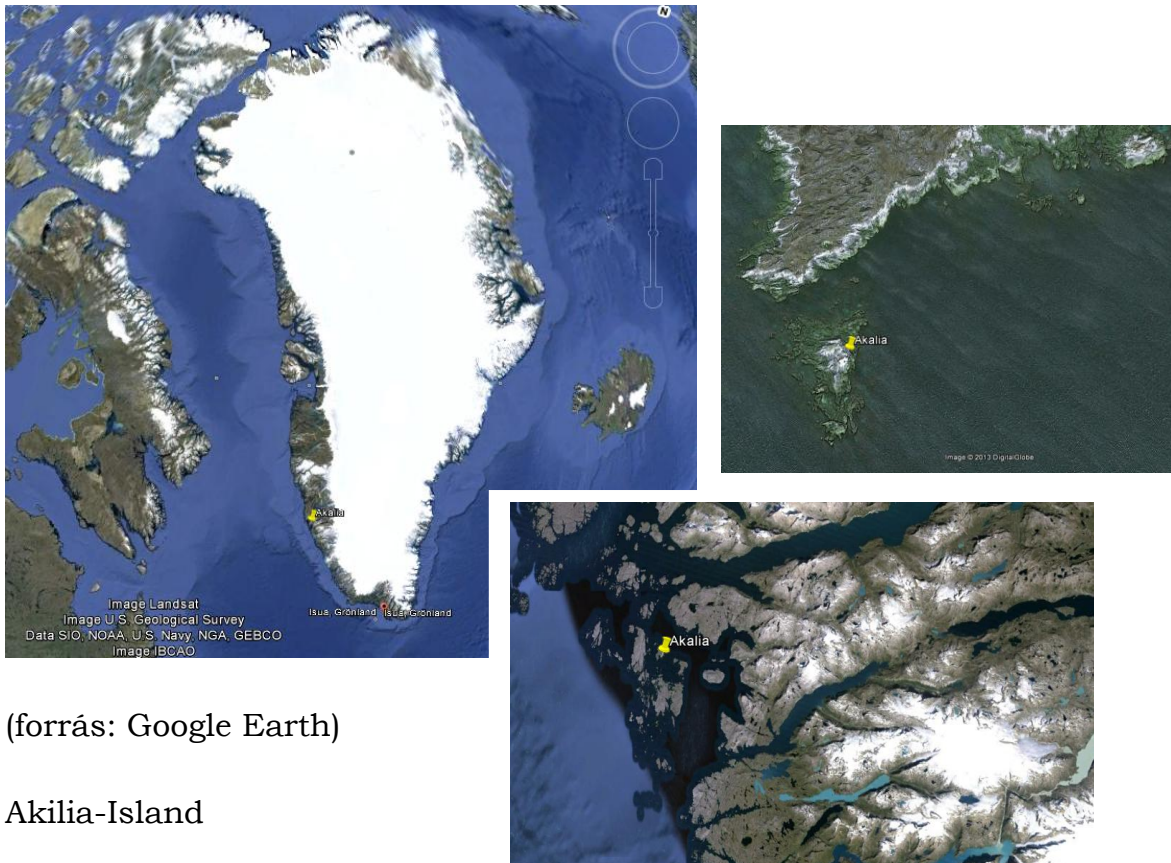
Akilia Island, Dél-Nyugat Grönland kőzetek hasollóak az Isua Supracrustal Belt kőzetekhez.

Nutman, and C. R. L. Friend az “Evidence for life on Earth before 3,800 million years ago.” című írásukban kifejtették, hogy „az Akilia szigeten az üledékes foszfátszemcsékben található szén elemzése azt mutatta, hogy a sziklák keletkezésekor már volt élet a Földön, ezek a sziklák pedig 3,85 milliárd évesek”.



Fig. B1 Putative signs of life have been reported from Akilia Island and the Isua supracrustal belt in south-west Greenland. On Akilia, the claims come from a banded quartz-pyroxene rock that has been interpreted as a metamorphosed banded iron formation. In Isua, claims have come from meta-cherts and meta-BIF together with other banded rocks interpreted as a turbidite sequence (pictured above). Controversy surrounds most of these claims with regard to the age, original protolith and biogenicity. Scale: top, person is 2 m tall; bottom, antlers are 80 cm long (Photographs courtesy of Stephen Moorbath)

(forrás: Wacey, David: Early Life on Earth, A Practical Guide 2009. Springer Science Business Media B.V.)



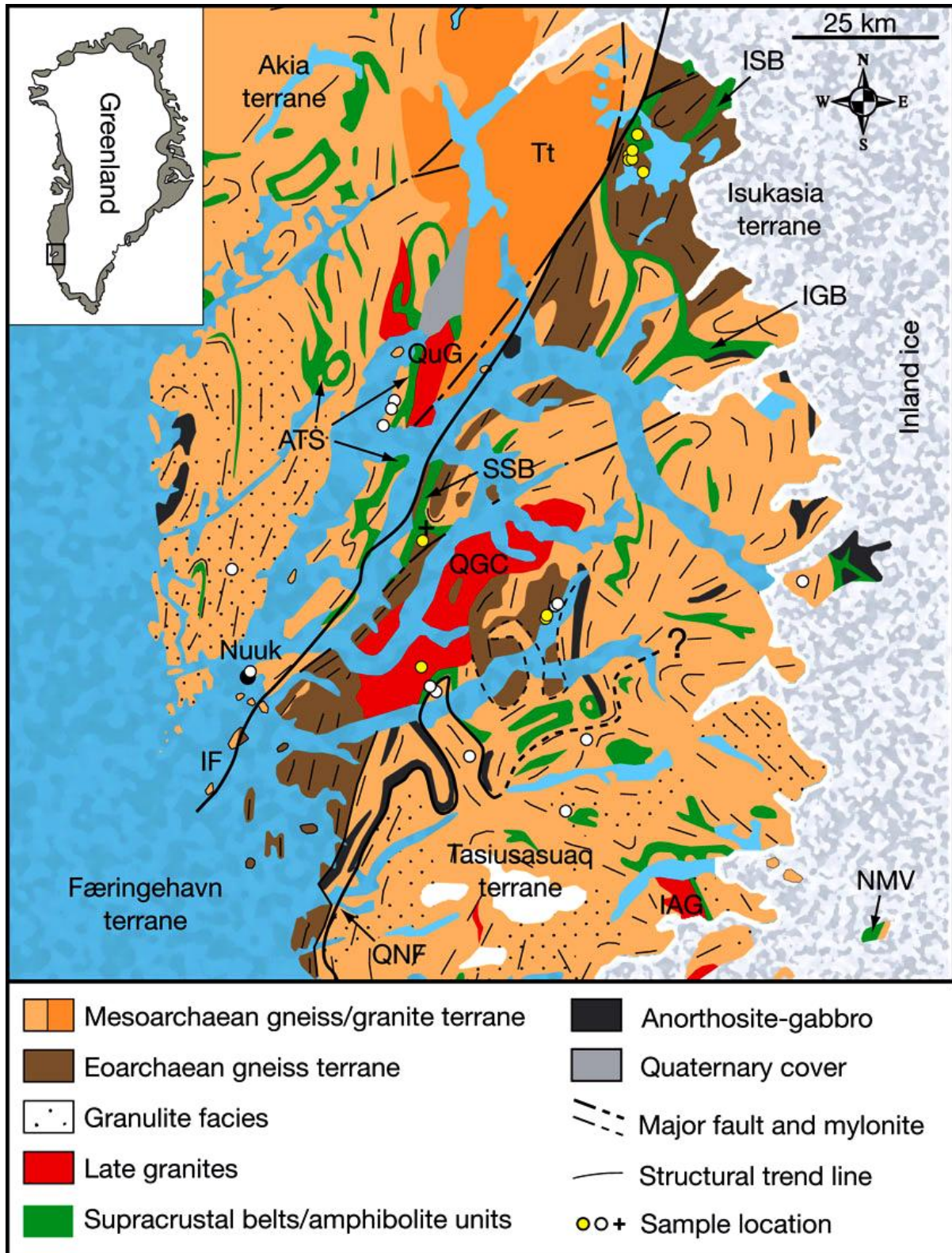
(forrás: Google Earth)

Akilia-Island



(forrás: evansebastienvivien.wixsite.com/tpe1sia-viesurterre/single-post/2016/1/4/Todays-new-topic-The-conditions-that-allowed-lifes-appearance-on-Earth)

Akilia-Island, Sedimentary Rock (üledéles kőzet).



(forrás: www.arnbjorn.com/Myndir/foringahavnin.htm és www.researchgate.net/figure/Simplified-geological-map-of-the-Godthabsfjord-region-southern-West-Greenland-from_fig1_222005264)

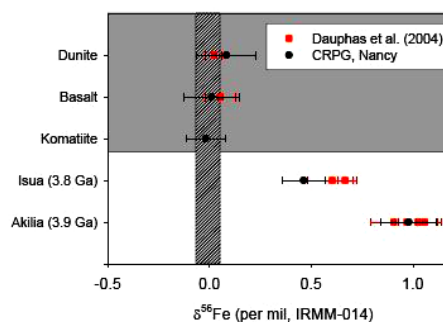


(illusztráció forrása: timetrek.aikavaellus.fi/timetravel/4000-2/)



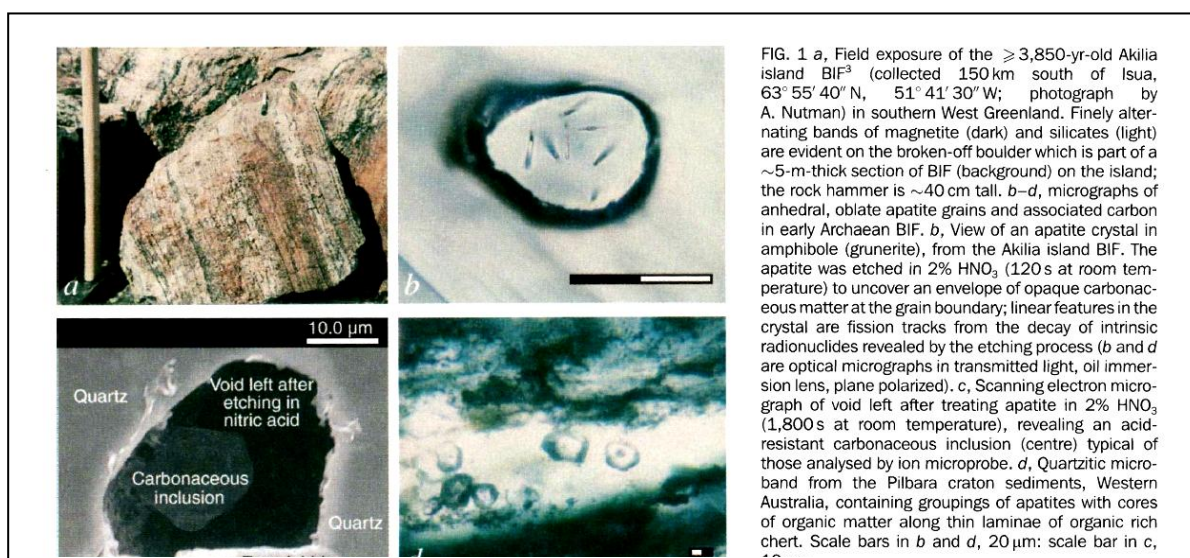
(illusztráció forrása: <https://intouniverse.weebly.com/search-for-life.html>)

Egy 3,8 milliárd évvel korábbi archaikumi helyszín lehetséges látképei.



(forrás: www.exobiologie.fr/blog/2006/03/24/traces-of-early-life-a-geochemists-view/)

Nyugat-Grönland, Akilia-sziget délnyugati csücskében található, 3,85 milliárd éves erősen metamorfózisú kvarc-piroxén kőzet már régóta a figyelem középpontjába került a Földi élet legrégebbi nyomait illetően. A legújabb vizsgálatoknál vasizotóp-szisztematikát és nyomelemarányokat alkalmaztak az Akilia kőzet üledékes eredet határozottabb bizonyításához, melynek eredményeképpen az ábrán látható a vasizotóparánya, összehasonlítva isua BIF-fel és ultramafikus kőzetekkel.



S. J. Mojzsis és munkatársai fotoszintetikus organizmusok (például az algák és a növények) kémiai nyomfossziliák vagy biomarkerek nyomait keresték. Mikroszondás mérésekkel vizsgálták a szén izotóp-összetételét 1996-ban a kutatók Grönland két területén, a 3,8 milliárd éves sávosvas formációt az Isua Greenstone Belt kőzetet, Nyugat Grönlandon, és egy hasonló 3,85 milliárd éves formációt a közeli Akilia szigeten. A Grönlandon gyűjtött korai „Archean BIF” apatit leleteket (b.mikroszkopos kép), és összehasonlította a Nyugat Ausztráliai Bilbara craton apatit csoporttal (d. mikroszkopos kép). A mérési eredmények alapján a Nature (384:55f., 59.) 1996 November 07-ei számában S. J. Mojzsis, G. Arrhenius, K. D. McKeegan, T. M. Harrison, A. P.

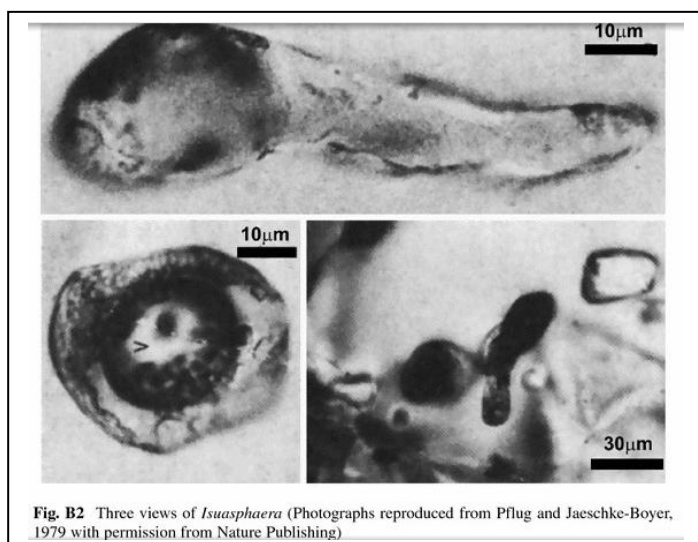


Fig. B2 Three views of *Isuasphaera* (Photographs reproduced from Pflug and Jaeschke-Boyer, 1979 with permission from Nature Publishing)

Három „*Isuasphaera*” fosszília, a földi élet korai lehetséges nyomai 3,7 milliárd éves Isua Supracrustal Belt és Akilia Island, Dél-Nyugat Grönland kőzetekből.

(forrás: Pflug és Jaeschke-Boyer, Nature Publishing 1979.,

forrás: Wacey, David: Early Life on Earth, A Practical Guide 2009. Springer Science Business Media B.V.)

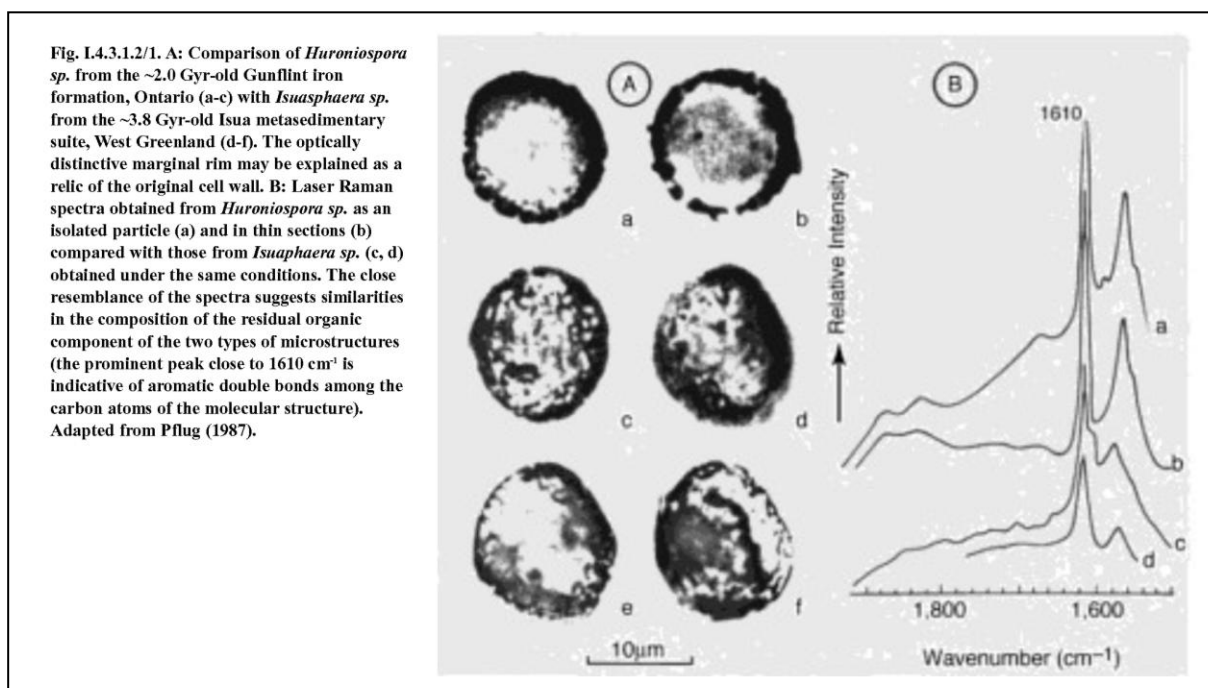


Fig. 1.4.3.1.2/1. A: Comparison of *Huroniospora* sp. from the ~2.0 Gyr-old Gunflint iron formation, Ontario (a-c) with *Isuasphaera* sp. from the ~3.8 Gyr-old Isua metasedimentary suite, West Greenland (d-f). The optically distinctive marginal rim may be explained as a relic of the original cell wall. B: Laser Raman spectra obtained from *Huroniospora* sp. as an isolated particle (a) and in thin sections (b) compared with those from *Isuasphaera* sp. (c, d) obtained under the same conditions. The close resemblance of the spectra suggests similarities in the composition of the residual organic component of the two types of microstructures (the prominent peak close to 1610 cm⁻¹ is indicative of aromatic double bonds among the carbon atoms of the molecular structure). Adapted from Pflug (1987).

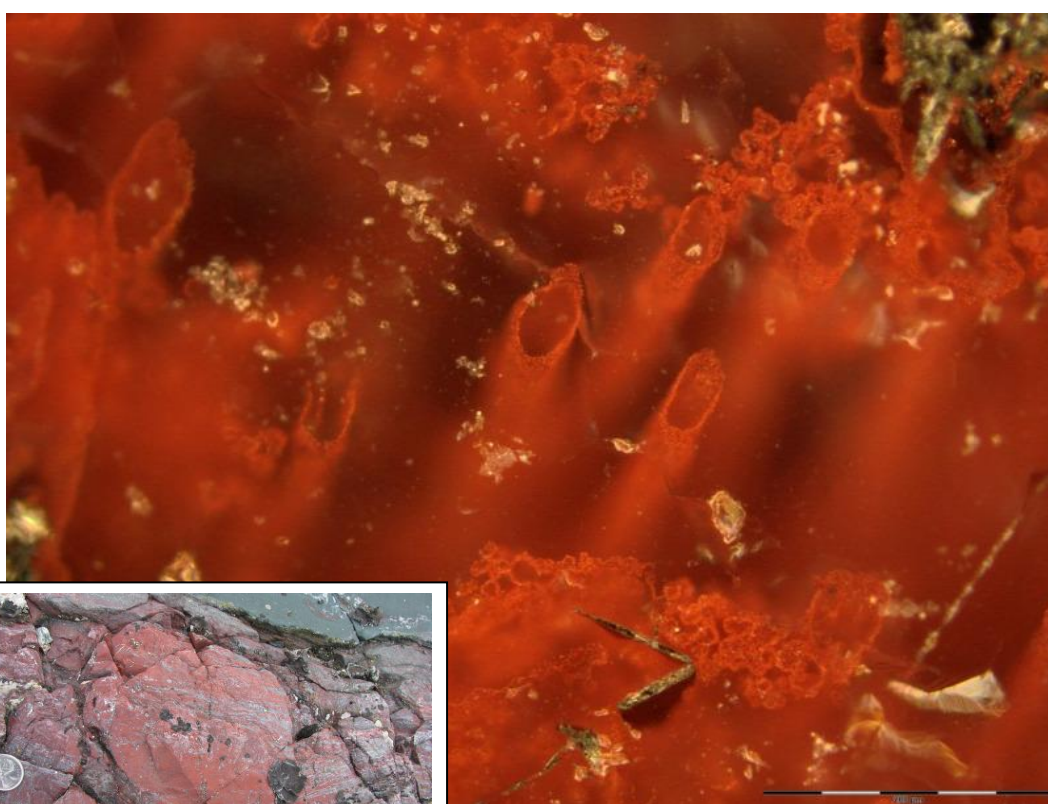
(forrás: Manfred Schidlowski „A 3800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks” Nature 333, 313 – 318, 26 May 1988)

A *Huroniospora* sp. 2,0 milliárd éves „Gunflint formáció”, Ontario (a-c), és az *Isuasphaera* sp. 3,8 milliárd éves „Isua sorozat”, Nyugat-Grönlandland (d-f) „Cellular Microfossils” leletek összehasonlító elemzése.

Az ábrán látható jellemzők hasonlósága, megerősíti, hogy a nyugat-grönlandlandi jóval régebbi, 3,87 milliárd éves kőzetben talált „Isua sorozat” is az földi korai élet nyomára utal.

3,77 milliárd éve élt mikroorganizmusok maradványaira talált rá egy nemzetközi kutatócsoport. Ezek az eddig ismert legrégebbi fossziliák.

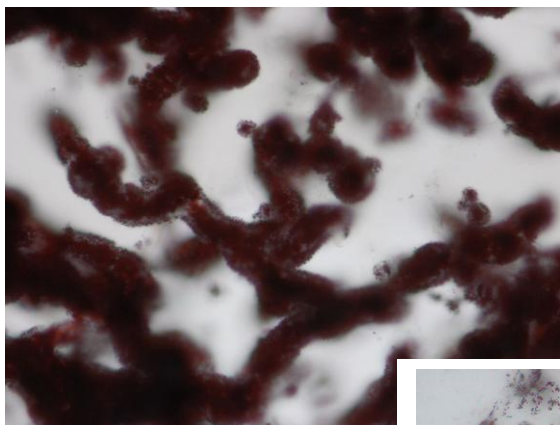
A vasoxidáló baktériumok által létrehozott apró, az emberi hajszálnál is vékonyabb, nagyjából 5 milliméter hosszú szálakat és csöveket kvarcristályok közé ágyazva találták meg a kanadai Quebecben található Nuvvuagittuq zöldkő-övezetben. E régió a Föld legősibb ismert üledékes kőzeteit tartalmazza. A térség valaha egy vasban gazdag, mélytengeri hidrotermális kürtőrendszer része volt, ami 3,77 és 4,28 milliárd évvel ezelőtt kiváló környezetet biztosított bolygónk legelső létformáinak. Ezek a mikroorganizmusok vas oxidálásával jutottak az életműködésükhöz elengedhetetlen energiához.



([nytimes.com/2017/03/01/science/earths-oldest-bacteria-fossils.html](https://www.nytimes.com/2017/03/01/science/earths-oldest-bacteria-fossils.html), és <https://hu.pinterest.com/pin/310889180522540852/>)

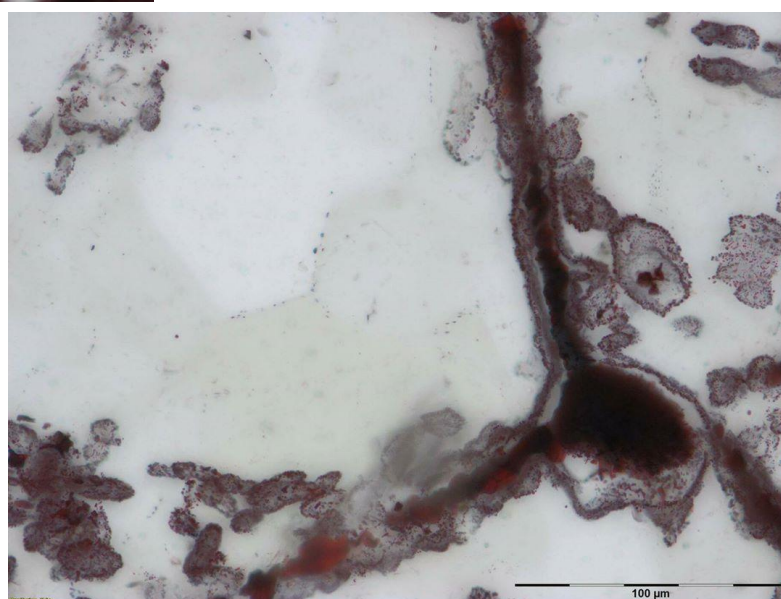
Hematitcsövek, amelyeket ősi mikroorganizmusok hoztak létre.

„Felfedezésünk megerősíti azt a feltételezést, hogy az élet csirái a tengerfenéken található forró kürtők környékén jelentek meg, nem sokkal a Föld születése után. Az élet gyors megjelenésére szolgálnak bizonyítékkul azok a 3,7 milliárd éves üledékes halmok, amiket mikroorganizmusok hoztak létre” – írta Matthew Dodd, a University College London (UCL) doktorandusza, a Nature magazinban megjelent tanulmány első szerzője.



(forrás: Matthew S. Dodd, Dominic Papineau, Tor Grenne, John F. Slack, Martin Rittner, Franco Pirajno, Jonathan O'Neil & Crispin T. S. Little: Evidence for early life in Earth's oldest hydrothermal vent precipitates, Nature volume 543, pages60–64(2017), Published: 02 March 2017,

www.nature.com/articles/nature21377, és www.nationalgeographic.com/news/2017/03/oldest-life-earth-iron-fossils-canada-vents-science/, és www.eurekalert.org/pub_releases/2017-03/ucl-wof022817.php, és <https://zenodo.org/record/1000460#.XxcgSbhZu68>)



A leletekben megfigyelt szál- és csőszerű struktúrák elágazóak, vagyis olyan tulajdonságokat mutatnak, mint amiket bizonyítottan vasoxidáló baktériumok hoztak létre más hidrotermális kürtők környékén. Ráadásul a maradványokban a kutatók grafitot, valamint apatitot és karbonátot is találtak, amik ugyancsak arra utalnak, hogy mikroorganizmusok ősmaradványaira sikerült ráakadni.

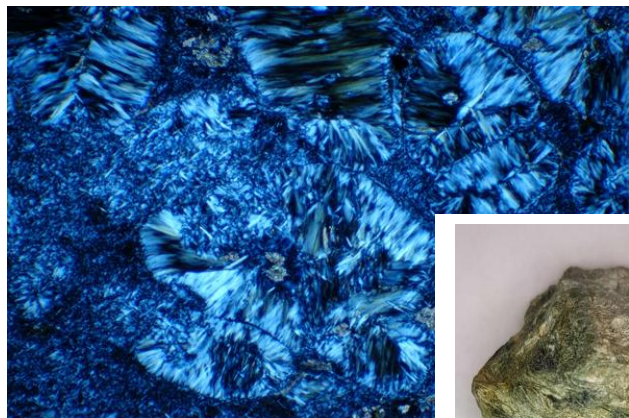
Dodd és kollégái többek között lézeres képalkotó elemzést használtak, hogy elemezzék az ásványt, ami a szerves anyaghoz kapcsolódik. Arra a következtetésre jutottak, hogy különösen két ásvány jelenléte - apatit és karbonit - erős bizonyítékot szolgáltat az életre.

Sőt, a tudósok megjegyezték, hogy a mikrofossziliák struktúrája nagyon hasonlít a modern baktériumokéra, amelyek vasban gazdag hidrotermikus források közelében élnek.

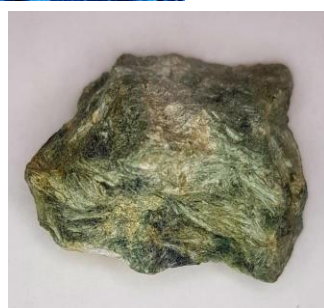
Ha a kormeghatározások pontosak, akkor ez azt jelenti, hogy az „élet szinte azonnal megjelent” az óceánok kialakulása után, írta Matthew Dodd a tanulmány vezető szerzője.

A stanfordi geológusok egy csoportja a korai Föld geológiáját és környezetét vizsgálva egy elméletet dolgoztak ki mely szerint az élet az óceán fenekén lévő serpentinit kőzeteken keletkezett.

Az első organizmusok csak egy rövid geológiai időszakban keletkezhettek, mivel a szükséges feltételek csak néhány millió évig léteztek, a földtörténet korai szakaszában.



(forrás: Fotók Emily Pope, <https://news.stanford.edu/news/2011/september/serpentine-life-origin-092211.html>, és <https://news-cdn.softpedia.com/images/news2/Life-originated-Above-Serpentinite-Rocks-in-the-Ocean-2.jpg> és kőzetminta a saját ásványgyűjteményből)



Az ábrán serpentinit kőzet vékonycsiszolat fotomikrográf képe és serpentinit kőzetdarab látható. ,

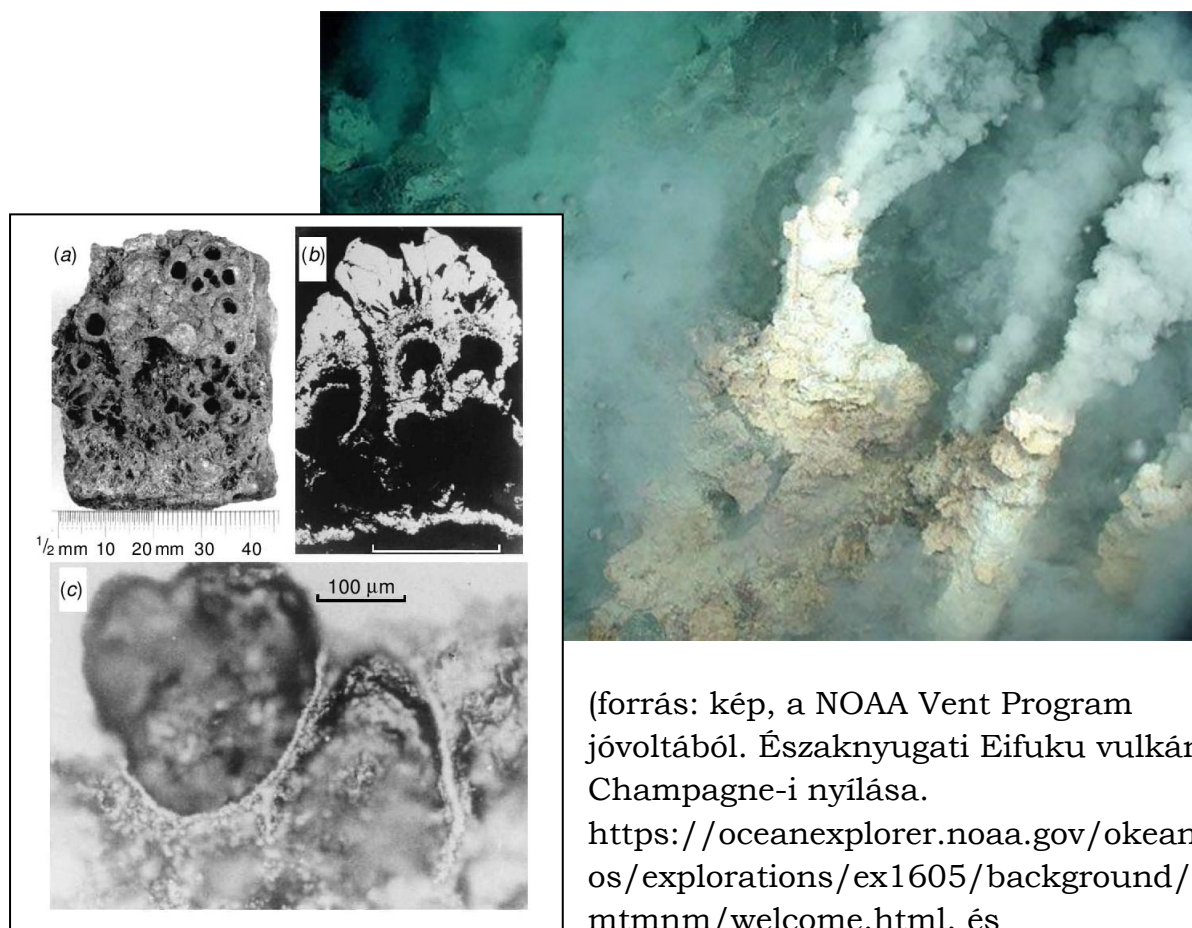


Az ábra a serpentinit lelőhelyét mutatja, Nyugat-Grönland Isua Supracrustal szekvenciájából, a grönlandi jégsapka nyugati peremén. A nyugat-grönlandi jégmezők alatt a kutatók a serpentinitet azonosították a legrégebb kőzetek közül.

(forrás: <https://phys.org/news/2011-09-life-arisen-serpentine.html>)

Körülbelül 3,8 milliárd évvel ezelőtt a Föld hemzsegetett az egysejtű élettől. Valamivel több, mint 4,5 milliárd évvel ezelőtt, a Föld egy párás sziklagömb volt. És valahol a kettő között, az első organizmusok spontán keletkeztek.

A mélytengeri füstölők, mélytengeri kémények az óceánfenék forró vizű forrásai, amelyek az óceáni hátságok közötti hasadékvölgyek mentén törnek föl. Gyakorta fémek szulfidjai és oxidjai válnak ki a forró (350 °C) hidrotermális oldatokból amikor azok feljutnak az óceán aljzatára. Az ásványkiválásokból (max. 10 m magas) építmények, úgynevezett „füstölők, kémények” épülnek föl.



(forrás: kép, a NOAA Vent Program jóvoltából. Északnyugati Eifuku vulkán Champagne-i nyílása.

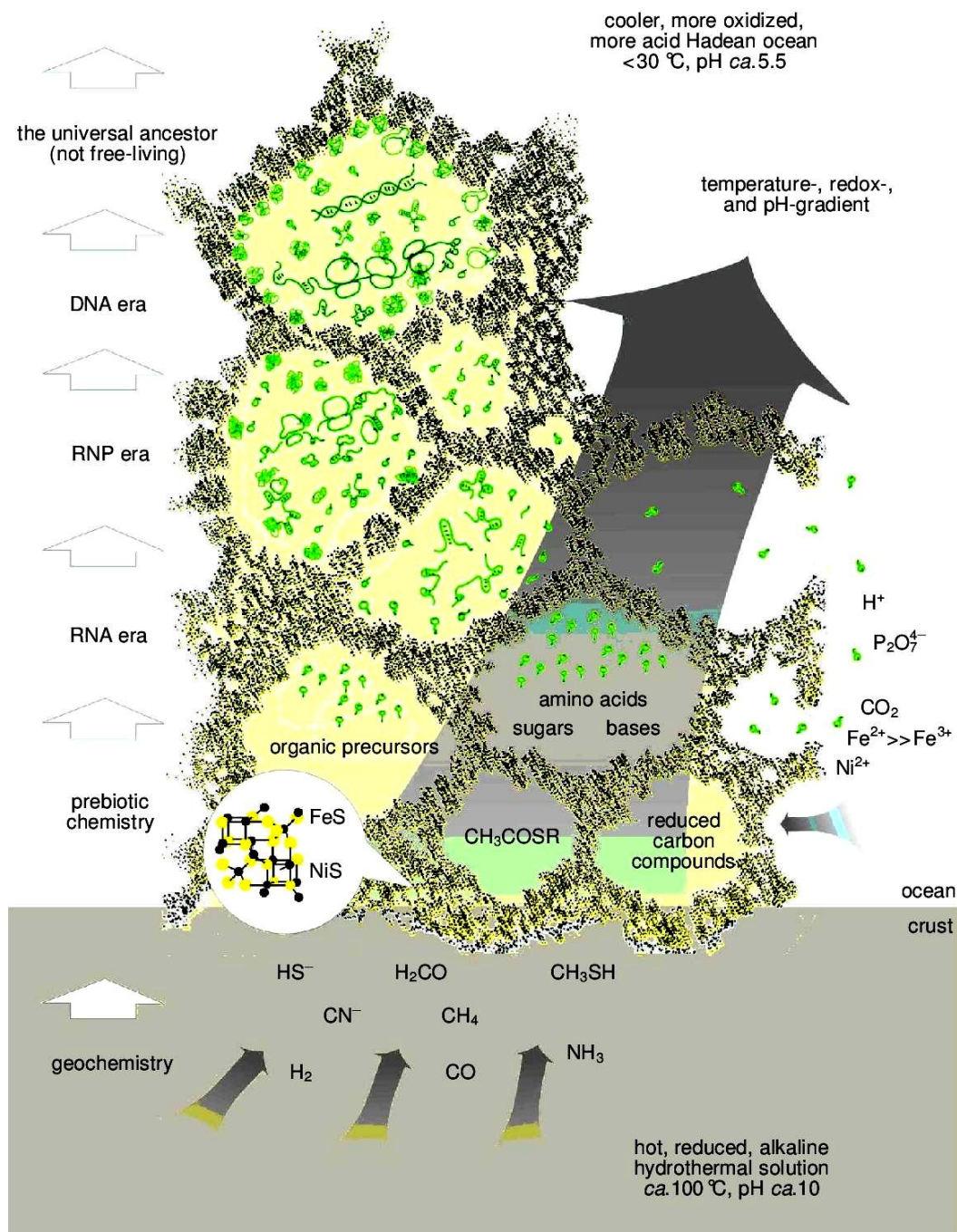
<https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1605/background/mtmnm/welcome.html>, és

DOI:10.1098/RSTB.2002.1183, www.semanticscholar.org/paper/On-the-origins-of-cells%3A-a-hypothesis-for-the-from-Martin-Russell/ed33023a16cdc21799bc5dca8e98102832c67d5c)

a) és b) kép egy 360 millió éves hidrotermálisan alakult vas-szulfid kémény fotója, c) vékony csiszolati elektronmikrográfján a pórusterek láthatóak.

A tanulmány a „Philosophical Transactions of the Royal Society B.” című folyóiratban jelent meg, szerzője a geofizika professzor Norm Sleep, geológiai és környezetvédelmi tudományok professzora Dennis Bird, és Emily Pope. A geológusok a mélytengeri serpentin kőzeteket vizsgálták, a „fehér füstölők” (hidrotermális kúrtók) környezetében, ahol a lúgos kiáramló folyadékok kölcsönhatásba lépnek savas tengervízzel.

Az így kapott reakció mikroszkopikus pórustereket képezhet a „kéménykőben”. Ez a likacsos kőzet a fehér füstös folyadék, perkolátorként működik, és az oldott anyagokat az apró terekben koncentrálja. Mivel az RNS-t alkotó nukleinsavak természetesen előfordultak a szellőző folyadékokban, ez a folyamat növeli a teljes RNS-szálak spontán kialakulásának valószínűségét. Az apró pórusok lehetővé tették a kialakult organizmusok számára, hogy sejtmembránok nélkül is életben maradjanak, a kőzetet szerkezetét felhasználva a saját szerkezetük védelmére.



(forrás: William Martin, Michael J. Russell: On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells, Published: 29 January 2003., <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1183>., <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2002.1183>, és DOI:10.1098/RSTB.2002.1183, www.semanticscholar.org/paper/On-the-origins-of-cells%3A-a-hypothesis-for-the-from-Martin-Russell/ed33023a16cdc21799bc5dca8e98102832c67d5c)

Hidrotermális kürtő sematikus ábrája.

Francia kutatók a Lyoni Egyetemről úgy gondolják, az Isua régióban az 3,8 milliárd éve sárvulkánok törtek ki, és általuk olyan kémiai elemek kerülhettek a felszínre, melyek segítették az első biomolekulák kialakulását - olvasható a Science Daily, Science News oldalán, 2011. október 26-án közzétett „Birthplace for Primitive Life On Earth? Researchers Identify Mud Volcanoes in Greenland as Niche for Early Life” cikkben amely korábban a Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) folyóiratban jelent meg.

Az új hipotézis cáfolná azt a vezető elméletet, mely szerint az élet az óceánmélyi hidrotermikus forrásoknál jelent meg először.



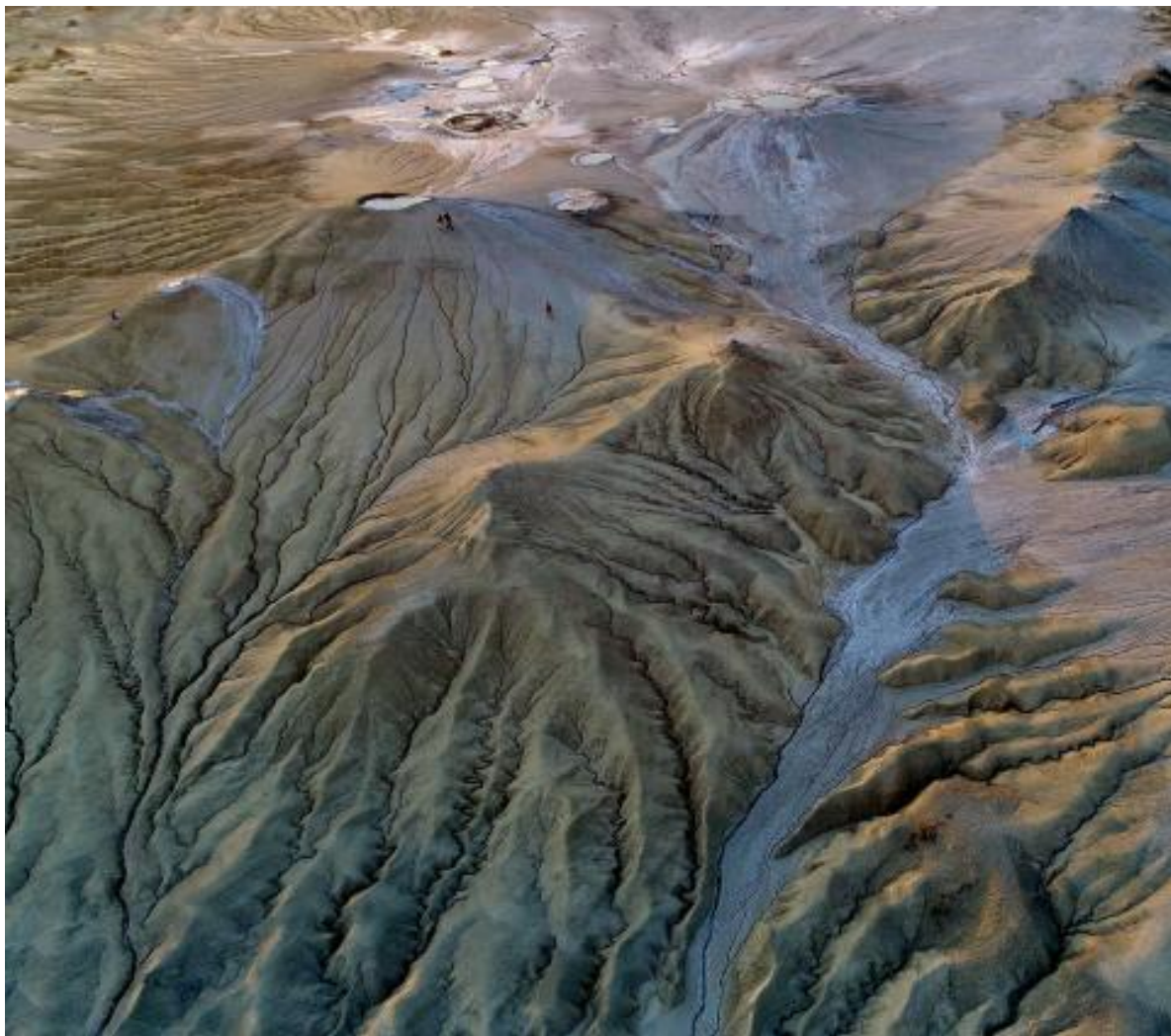
(Forrás: Francis Albarède, Laboratoire de géologie de Lyon : Terres, planètes et environnement, <https://phys.org/news/2011-10-birthplace-primitive-life-earth.html>)



Sárvulkán

(illusztráció forrása: Calvin Sun: Gobs And Gobs Of Mud Volcanoes In Gobustan, Azerbaijan <https://monsoondiaries.com/2018/08/27/gobs-and-gobs-of-mud-volcanoes-in-gobustan/>)

Az Isua területen talált 3,9 milliárd éves szerpentinit ásvány összetételéből következtetnek arra, hogy a grönlandi terület olyan nem savas környezetet biztosított, melyben könnyen stabilizálódhattak az élet építőkövei, az aminosavak. Sőt a helyszínen szinte minden ásványi összetevő jelen volt egykor, ami az élet kialakulásának kedvezett.



(forrás: fotok.transindex.ro/?galeria=1593&)



(fotok.transindex.ro/?galeria=1593&)

Az új elgondolásban különösen érdekes, hogy az élet keletkezését nem az óceánokba, hanem egy víz feletti területre teszi. A francia tudósok azt állítják ezzel, az első életformák a szárazföldön uralkodtak, az óceánba való visszatérés pedig egy több milliárd éves evolúciós kitérő volt, mely után az élet újra elkezdte meghódítani a partokat



Serpentinization of a 3.9 Ga dunite (olivine-rich rock) from Isua, West Greenland (horizontal dimension ~ 1 cm). The globular shapes are ghosts of olivine crystals replaced by serpentine. The light-color matrix is dominated by carbonates.

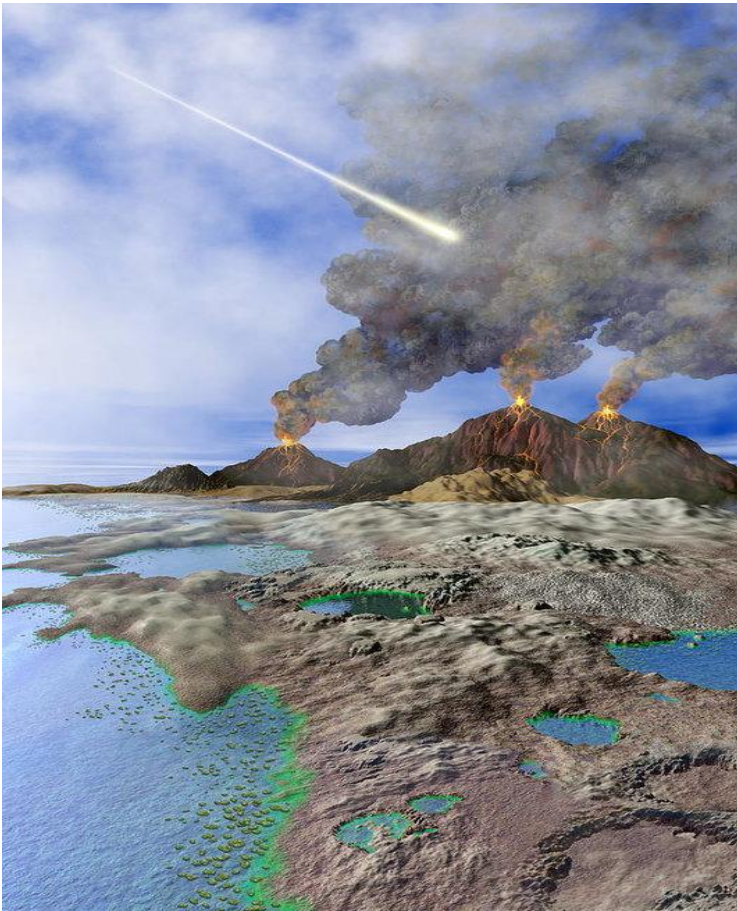
A 3,9 milliárd éves dunit (olivinban gazdag kőzet) szerpentinizálása (átkristályosodott metamorf kőzet) Isua-ból, Nyugat-Grönlandról (vízszintes méret 1 cm). A gömb alakú formák az olivinkristályok, a világos színű mátrixot a karbonátok alkotják.

(forrás: Francis Albarède, Janne Blichert-Toft, The terrestrial cradle of life,

DOI: 10.1051/orvie/2009001, September 2009,
www.researchgate.net/figure/Serpentinization-of-a-39-Ga-dunite-olivine-rich-rock-from-Isua-West-Greenland_fig1_233992629,
https://www.researchgate.net/publication/233992629_The_terrestrial_cradle_of_life/download)



(forrás: wikimapia.org/974857/hu/Kis-sárvulkán)



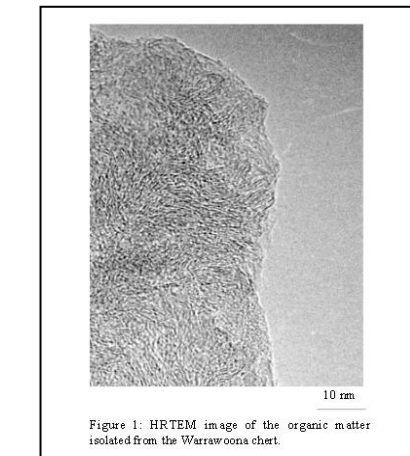
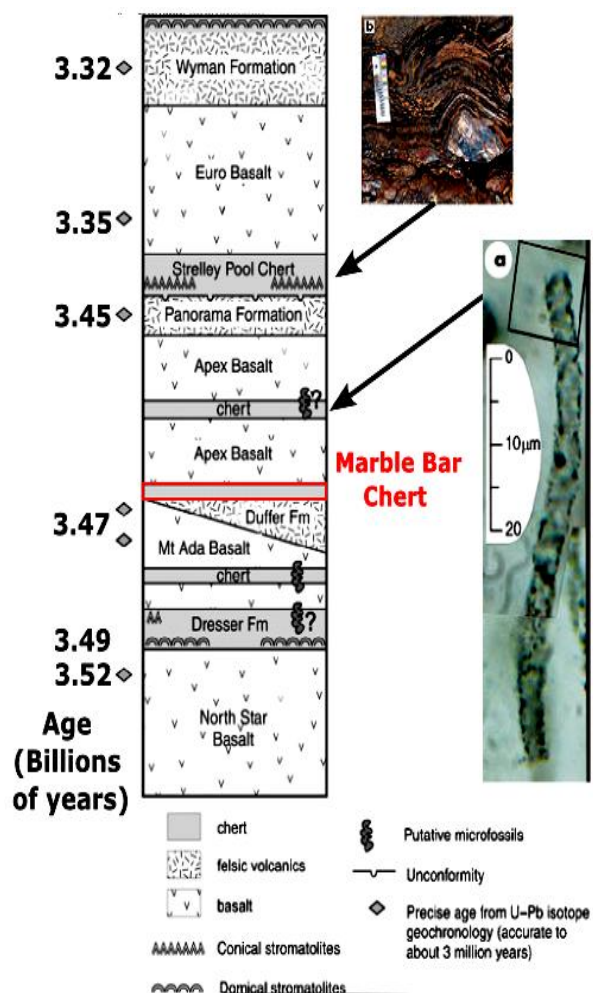
(www.earthsciences.hku.hk/shmuseum/earth_evo_03_arc04_1.php)
 (taringa.net/+imagenes/fly-el-geiser-de-colores-recomendado_12xosy)



Illusztráció, a 3,5 milliárd évvel korábbi helyszínekről.

(astrobio.net/origin-and-evolution-of-life/stepping-stones-through-time/)

A 3,465 milliárd éves „Marble Bar” chert (jáspis, sávos vasformáció) nagy részét szilícium-dioxid (kova) képezi, szorványosan egyéb ásványi anyagokat is (pl. pirit FeS_2) tartalmaz. A világos csíkokat a kova SiO_2 , a piros csíkokat a vas-oxid (hematit) Fe_2O_3 , a barnás csíkok karbonát (sziderit) FeCO_3 alkotja.



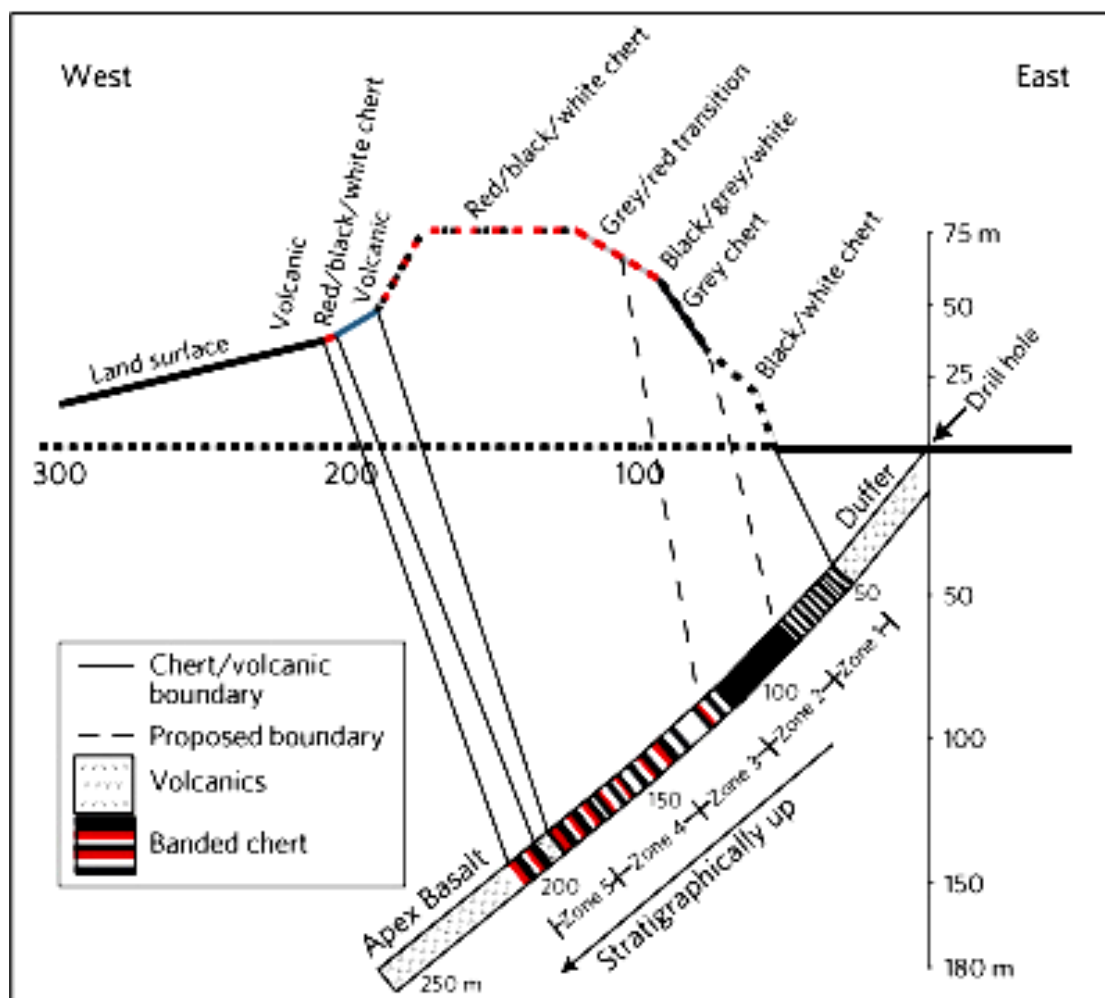
(forrás: A.Skrzypczak, S.Derenne, F.Robert, L.Binet, D. Gourier, J.-N. Rouzaud, C.Clinard: Characterization of the organic matter in an archaean chert, Lunar and Planetary Science XXXV., 2004.)

(forrás: Chris Rowan: Lots of oxygen on the Archean Earth?, News & Commentary From The World Of Geology & Earth Science 2009.)



(forrás: whyfiles.org/wp-content/uploads/2014/07/johnson0559.jpg all-geo.org/)

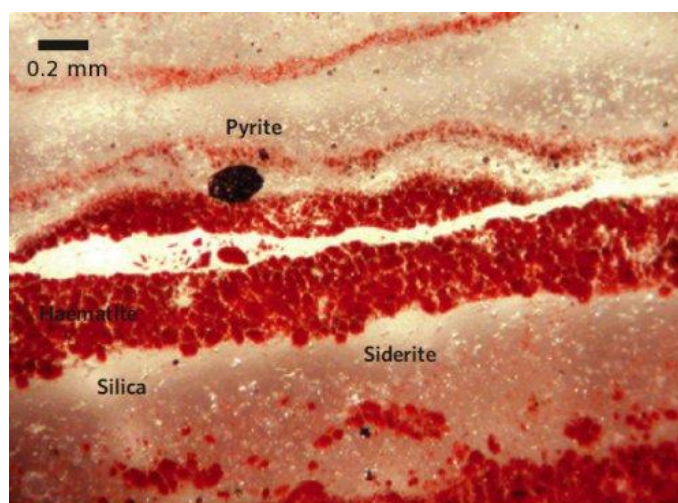
„Marble Bar” chert kőzet.



(forrás: Masamichi Hoashi, David C. Bevacqua, Tsubasa Otake, Yumiko Watanabe, Arthur H. Hickman, Satoshi Utsunomiya, Hiroshi Ohmoto: Primary haematite formation in an oxygenated sea 3.46 billion years ago, March 2009 *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73(4):536-306, DOI: 10.1038/ngeo465, www.researchgate.net/figure/Drilling-of-the-MBC-at-ABDP-Site-1-4-km-south-of-Marble-Bar-Western-Australia-The-MBC_fig6_253833163

www.researchgate.net/publication/253833163_Primary_haematite_formation_in_an_oxygenated_sea_346_billion_years_ago)

„Marble Bar” chert kőzet minta csiszolatának mikroszkópos képe.



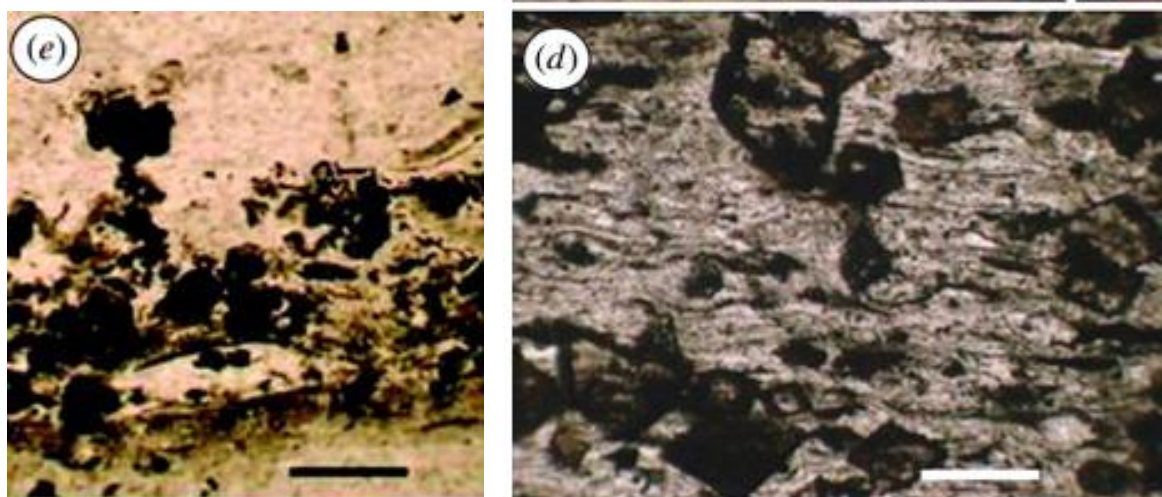


(forrás:

<https://43bluedoors.com/2020/07/20/marble-bar/>, és www.tripadvisor.com.au/Hotel_Review-g495067-d6770813-Reviews-Marble_Bar_Holiday_Park-Marble_Bar_The_Pilbara_Western_Australia.html)

„Marble Bar” chert kőzetek.

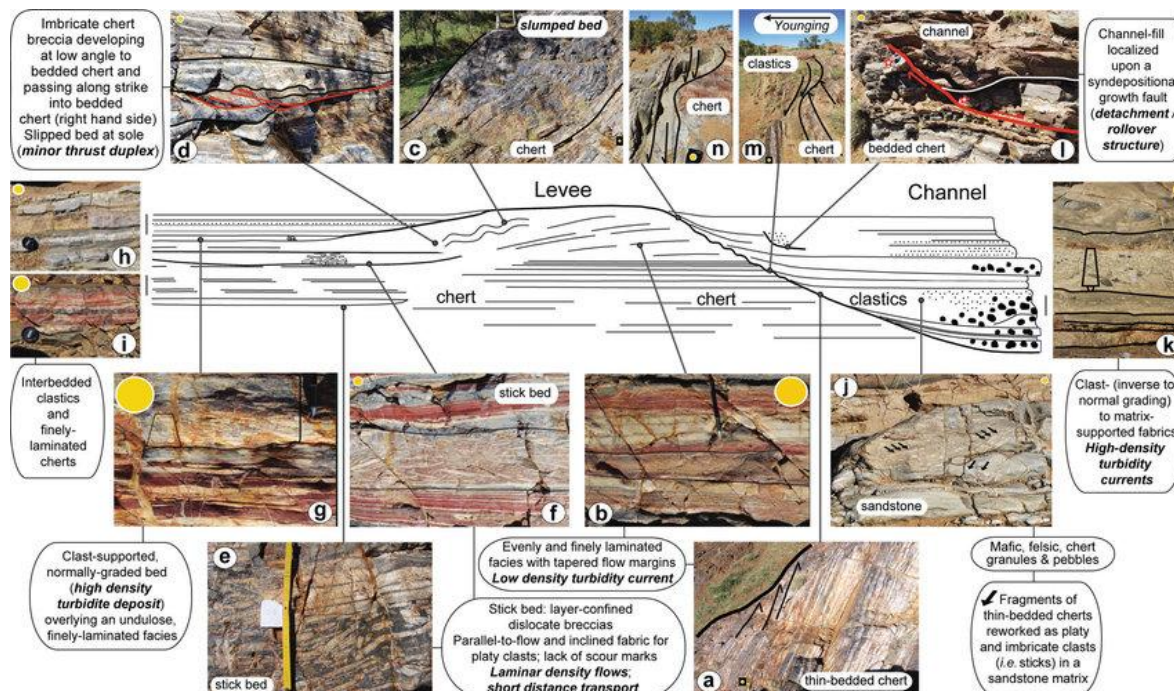




(forrás: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2006.1835> és <https://royalsocietypublishing.org/cms/asset/3d892ed9-a5af-4ee4-9412-8c88258226f8/887fig4.jpg>)

e) lekerekített, széntartalmú „fluff” (bolyhos szemcsék) a dél-afrikai Barberton-i Buck Reef Chert szőnyegtörredékeiből.

d) Széntartalmú „wisps” (vékony szálas töredék) az Apex Chertben. Megjegyezzük továbbá, hogy a széntartalmú anyag rombikus kristálynövekedések köré koncentrált.



(forrás: www.researchgate.net/figure/Colour-online-The-channel-levee-depositional-model-for-the-Marble-Bar-Chert-Member_fig3_233978133)

Az ábra a „Marble Bar” chert üledékes formáció illusztrációit mutatja be. (A narancssárga pont 5 cm széles.)

A Marble Bar város (Australia északnyugati része) az egyik legforróbb régió a világon és a különösen ősi szikláiról ismert. Ellentétben azzal, amit ennek a településnek a neve sugall, ezeknek a szikláknak az anyaga nem márvány, hanem jáspis. A mikrokristályos szilícium-dioxid, kova (cherts) különösen látványos, ahol váltakozó színű szürke, kék, piros és fehér. Keletkezési kora 3,46 milliárd év. A Marble Bar cherts az egyik legkorábbi és legjobban megőrzött üveges kőzet a Földön, és értékes információkat ad a korai Földről.

Lyon-i kutatók (N. Olivier, G. Dromart, N. Coltice és R. Sauvestre) és kollégáik a Sydney-i Egyetemen (N. Flament és P. Rey) elemezték a „Marble Bar” cherts-t és a két helyszíni kutató munka során 2008-ban és 2009-ben.

A Geological Magazine folyóiratban megjelent tanulmányban a szerzők azonosítják az üledék lerakódásokat és struktúrákat, és ezen új helyszíni megfigyelések alapján egy olyan modellt írtak le, amely a Föld legrégebbi ismert mélytengeri hidrotermális szellőzőit, (füstlőit) mutatja be.

A szerzők arra is rámutatnak, az allochtone jellegű cherts (egy nagy kőzettömb, amelyet az eredeti képződési helyéről áthelyeződött), mély óceánfenéki hidrotermális források közelében alakult ki.

Ez a tanulmány hangsúlyozza az archaikumi kőzetlerakódási környezet teljes megértésének fontosságát, különösen a bolygónkon és a Marson található élet első nyomainak felkutatásakor.

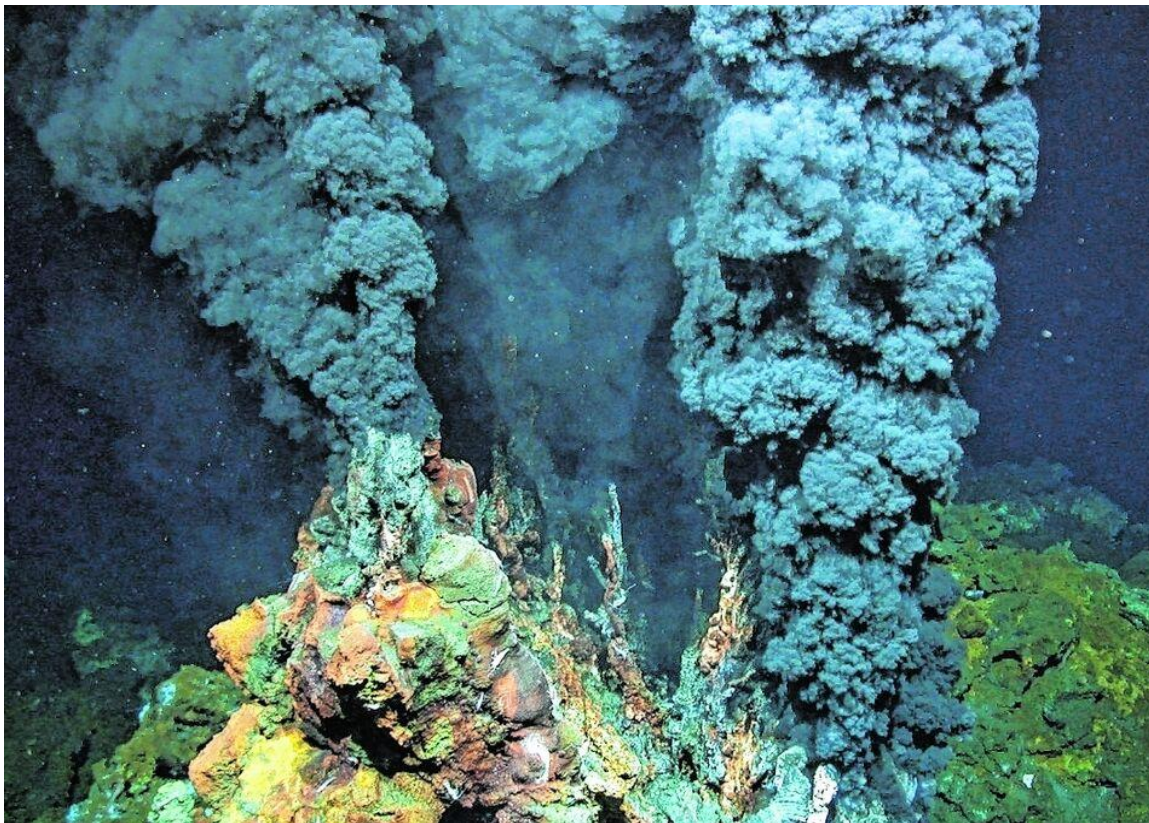
(forrás: Nicolas Olivier, Gilles Dromart, Nicolas Coltice, Nicolas Flament, University of Wollongong, Patrice F Rey, Rémi Sauvestre: A deep subaqueous fan depositional model for the Palaeoarchean (3.46 Ga) Marble Bar Cherts, Warrawoona Group, Western Australia, April 2012. Geological Magazine 149(4):743-749, DOI: 10.1017/S0016756812000131, www.researchgate.net/publication/233978133_A_deep_subaqueous_fan_depositional_model_for_the_Palaeoarchean_346_Ga_Marble_Bar_Cherts_Warrawoona_Group_Western_Australia, és lgtpe.ens-lyon.fr/news/le-plus-ancien-deep-sea-fan-terrestre)

(forrás:
<https://jakagems.blogspot.com/2013/04/marble-bar-jasper-beautiful-but-hard-to.html>)



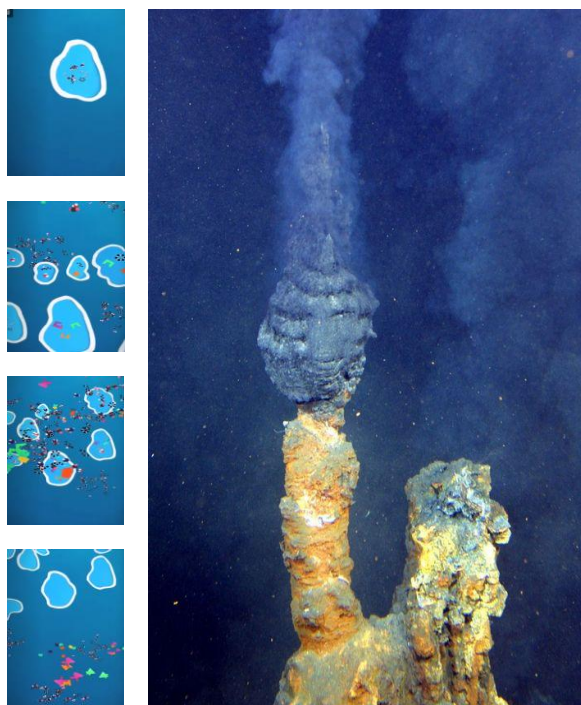


(forrás: heelsinmybackpack.com/2018/02/20/hidden-gems-australia/)



(Illusztráció forrása: Mariana árokban, Föld legmélyebb pontján hidrotermális szellőző. <https://aroundtheworldnaniedinsay.wordpress.com/2019/11/24/mariana-trench-the-deepest-part-of-the-earth/>, és www.weserkurier.de/startseite_artikel,-Kein-Leben-ohne-Eisen-_arid,1556323.html)

A mélytengeri füstölők, amelyek az óceáni hátságok közötti hasadékvölgyek mentén törnek föl, gyakorta fémek szulfidjai és oxidjai válnak ki a forró (350 °C) hidrotermális oldatokból amikor azok feljutnak az óceán aljzatára.



A likacsos kőzet perkolátorként működik, és az oldott anyagokat az apró terekben koncentrálna. Mivel az RNS-t alkotó nukleinsavak természetesen előfordultak a szellőző folyadékokban, ez a folyamat növeli a teljes RNS-szálak spontán kialakulásának valószínűségét. Az apró pórusok lehetővé tették a kialakult organizmusok számára, hogy sejtmembránok nélkül is életben maradjanak, a kőzetet szerkezetét felhasználva. A hőforrások ásványi csapadékának felszíne hasonlóképpen tudja katalizálni a reakciókat, mint egyes enzimek.

(www.newscientist.com/article/mg22329820-500-meet-your-maker-homing-in-on-the-ancestor-of-all-life/, Videó: Így kezdődött az élet a Földön)



(forrás: [https://asknature.org/strategy/microbe-survives-extreme-heat/Hydrothermal vents on the volcano of Giggenbach seamount, Kermadec Ridge](https://asknature.org/strategy/microbe-survives-extreme-heat/Hydrothermal-vents-on-the-volcano-of-Giggenbach-seamount,Kermadec-Ridge). Image courtesy of NOAA Kermadec Ring of Fire Expedition 2006 TerraNature Trust, <https://yudispurnama.com/new-attraction-on-the-sea-floor/>)

Vas és szilícium-dioxid gazdag kémények csúcsán sárga kénlerakódás a „mélytengeri füstölők” környékén, 5000 méteres mélységben. (Új-Zéland)

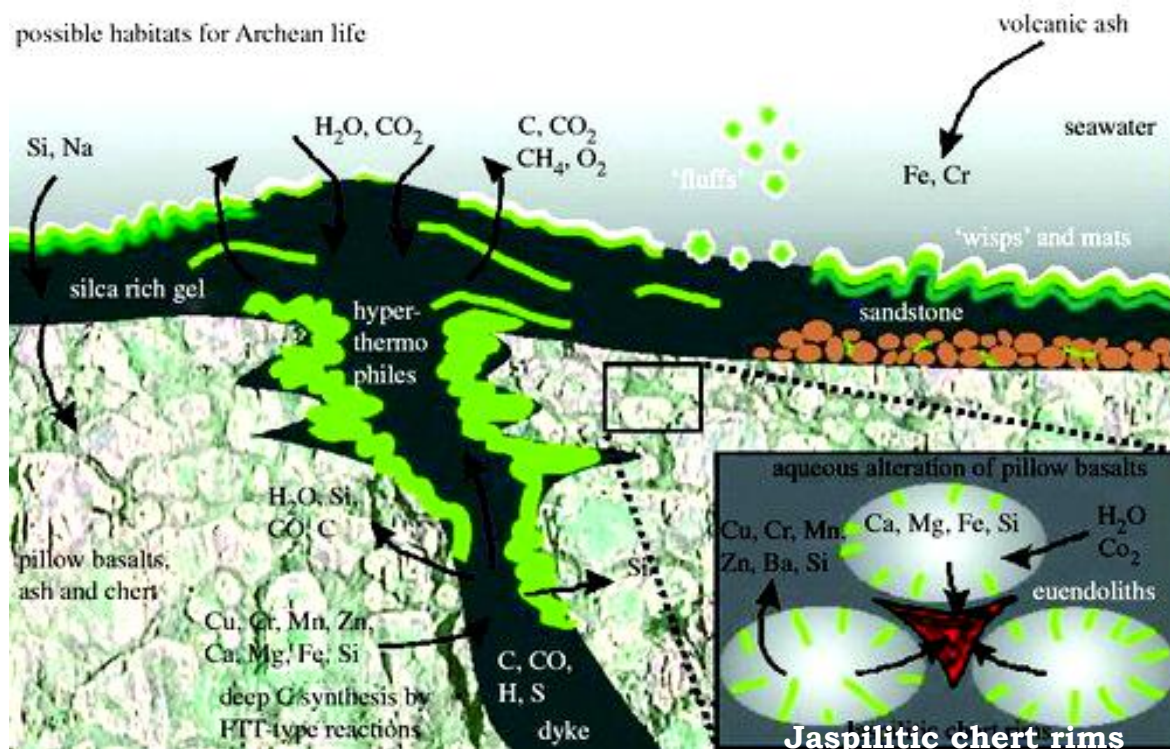


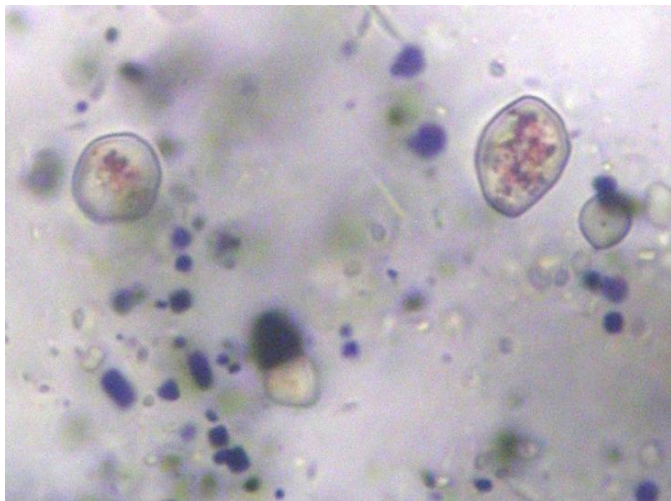
Figure 4 Schematic diagram showing the possible habitats for life (here shown in green) and suggested cycling of major elements in the Archean ocean. Ecological tiering includes: planktonic cell aggregates or 'fluffs', benthic 'wisps' and mats, intraterrestrial euendoliths within sandstones and pillow basalt rims (inset at right) and hyperthermophilic microbes in hydrothermal settings.

(forrás: Martin Brasier, Nicola McLoughlin, Owen Green and David Wacey: A fresh look at the fossil evidence for early Archean cellular life, Published: 19 May 2006, <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1835>, és <https://royalsocietypublishing.org/cms/asset/3d892ed9-a5af-4ee4-9412-8c88258226f8/887fig4.jpg>, és www.jstor.org/stable/20209691?seq=1, és <https://physwww.mcmaster.ca/~higgsp/3D03/BrasierArchaeanFossils.pdf>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16754605/>)

A Sematikus ábra mutatja a lehetséges helyeket ahhoz az élet keletkezhetett (zöld jelölés). Láthatóak a ciklusok főbb elemei az „Archaean” óceánban, és a jaspis (hematitban gazdag „chert” – kovakő), egy kemény, finomszemcsés üledékes kőzet képződési helye.

Az ökológiai rétegzés magában foglalja: plankton sejt aggregátumokat vagy „fluffs”-t (bolyhok), a bentikus (vizek fenekének élővilágához tartozó) „wisps”-t (vékony szálas töredék) és szőnyeget, „intraterrestrial euendoliths”-t (olyan organizmusok, amely mélyen a föld alatt ásványi pórusokban élnek) a homokkő és párna bazalt pórusokban és a hipertermofil mikrobákat (mikroorganizmusok, amelyek olyan környezetben élnek és fejlődnek ki, ahol a hőmérséklet magas, az optimális hőmérséklete meghaladja a 80 °C-ot) a hidrotermális környezetben (az óceánok fenekén alakulnak ki, mikor a repedésekben a forró magma felhevíti a vizet, ami a magas hőmérsékleten sok ásványi anyagot old ki).

A képen egy 3,446 milliárd éves rétegekből kitermelt vörös jáspis a siderite kristályokat tartalmazó minta csiszolatának mikrográfja (fénymikroszkópos képe) látható, a vörös hematit belsejében. A sötétkék magnatit és pirit. Ez csak akkor fordulhat elő, ha a mély óceán oxigént tartalmaz, és a vasban gazdag folyadékok magas hőmérsékleten érintkeznek.



(forrás: <https://milowise.com/wp-content/uploads/2013/02/JasperRockMarbleBar.jpg>, és fotó: Hiroshi Ohmoto/Yumiko Watanabe,

Deep-sea Rocks Point To Early Oxygen On Earth, ScienceDaily, 25 March 2009. www.sciencedaily.com/releases/2009/03/090324131458.htm, és <https://phys.org/news/2009-03-deep-sea-early-oxygen-earth.html>, és fotó: Penn State, news.psu.edu/gallery/258476/2010/10/20/jasper)

„Mindenki egyetért azzal, hogy ez a jáspis 3,46 milliárd éves. Ha hematit bármikor kialakulna a siderit oxidációjával, akkor a hematit a siderit külső oldalán volna található, de a vizsgált mintában belül fedezhető fel” - jelentette be Ohmoto a Nature Geoscience szakfolyóiratban. (stage.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/March-2009/Archaean-oxygen)

Annak meghatározásához, hogy az ultraibolya fény vagy az oxigén képezte-e a hematitot – annak a megfejtését a hematit kristályszerkezete bizonyítja. Ha a hematit prekursorai a felszínen alakulnának ki, a kőzet kristályszerkezete apró részecskékből képződne, amelyek aggregálódva nagy kristályokat eredményeznének, amelyek között sok üres hely lenne. Transzmissziós elektronmikroszkópos módszerrel a kutatók nem ilyen kristályszerkezetet találtak.

„Megállapítottuk, hogy a magból származó hematit egyetlen kristályból készült, és ezért nem ultraibolya sugárzással állított elő hematitot” - írta Hiroshi Ohmoto, a Penn State geokémia professzora.

Ohmoto és csapata úgy véli, hogy ez a hematitréteg akkor képződött, amikor egy hevített vízcsatornából, mint például a hidrotermikus szellőzőnyílásokon, kiáramló óceánvízben oldott oxigén a vasvegyületeket hematité alakítja.

„Ez magyarázza, hogy ez a hematit miért csak az aktív tengeralatti-vulkanizmusú területeken található. Ez azt is jelenti, hogy a légkörben oxigén volt 3,46 milliárd évvel ezelőtt, mert az oxigén létezésének egyetlen mechanizmusa a mély óceánokban az, hogy az atmoszférában oxigén legyen.” A mélytengeri kőzetek a korai oxigénre mutatnak a Földön.

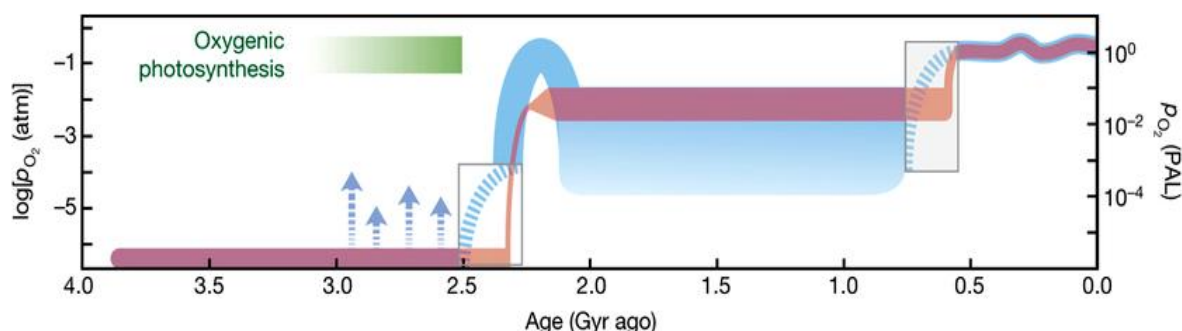


Ez a jáspis, vagy hematitban (Fe_2O_3) gazdag „chert” - kovakő (SiO_2), egy kemény, finomszemcsés üledékes kőzet, jellegzetesen biológiai eredetű - hasonló módon képződött, mint ahogyan ez a kőzet a mély óceánokban a hidrotermikus füstölők körül formálódik.

(stage.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/March-2009/Archaean-oxygen)

Sokan feltételezték, hogy az ősi kőzetekben a hematit a modern légkörben a siderit oxidációjával képződött. A kutatók átlósan a Nyugat-Ausztrália északnyugati részén, a Pilbara régióban található domb alapjába fúrtak olyan jaspis-mintákat, amelyek nem voltak kitéve a légkörnek vagy a víznek. Ezeket a jaspárokat 3,46 milliárd évvel ezelőtt képződött.

Ahhoz, hogy ilyen mennyiségű oxigént kapjon, a Földnek rendelkeznie kellett olyan oxigént termelő organizmusokkal, mint a cianobaktériumok, amelyek aktívan előállítják, és ezeket a organizmusokat sokkal korábbra helyezik el a Föld története során, mint azt korábban gondolták.

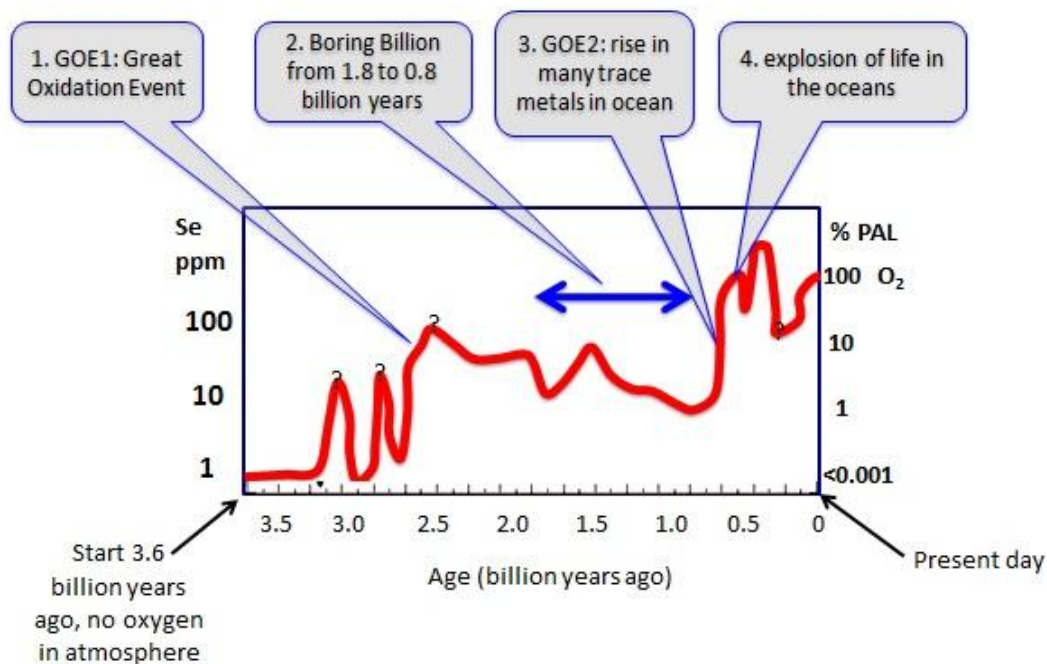


(forrás: Timothy W. Lyons, Christopher T. Reinhard & Noah J. Planavsky: The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere, Nature volume 506, pages 307–315(2014), 19 February 2014., hun.legatechnics.com/deep-sea-rocks-point-early-oxygen-earth-662987)

A Föld légköri oxigéntartalmának fejlődése az időben. A halvány piros görbe a légköri evolúció „klasszikus, kétlépcsős” nézetét mutatja, míg a kék görbe a kialakulóban lévő modellt.

A Tasmániai Egyetem geológusa, Ross Large professzor és nemzetközi csapata szerint az élet az ősi óceánokban fejlődött ki ~3,6 milliárd évvel ezelőtt, de azt követően az evolúció egymilliárd évig iszapban ragadt. A kulcs az oxigén- és tápanyagelemek hiánya volt, ami bizonytalan helyzetbe hozta az evolúciót.

Ez alatt a milliárd év alatt az oxigénszint csökkent, és az óceánok elvesztették azokat, az „építőelemeket” amelyek szükségesek ahhoz, hogy az élet bonyolultabb organizmusokká fejlődjön.



(forrás: Ross R. Large, Jacqueline A. Halpin, Leonid V. Danyushevsky, Valeriy V. Maslennikov, Stuart W. Bull, John A. Long, Daniel D. Gregory, Elena Lounejeva, Timothy W. Lyons, Patrick J. Sack, Peter J. McGoldrick, Clive R. Calver. Trace element content of sedimentary pyrite as a new proxy for deep-time ocean-atmosphere evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 2014; 389: 209 DOI: 10.1016/j.epsl.2013.12.020, Volume 389, 1 March 2014, Pages 209-220, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012821X13007267?via%3Dihub, és <https://phys.org/news/2014-02-evolution-stuck-slime-billion-years.html>)

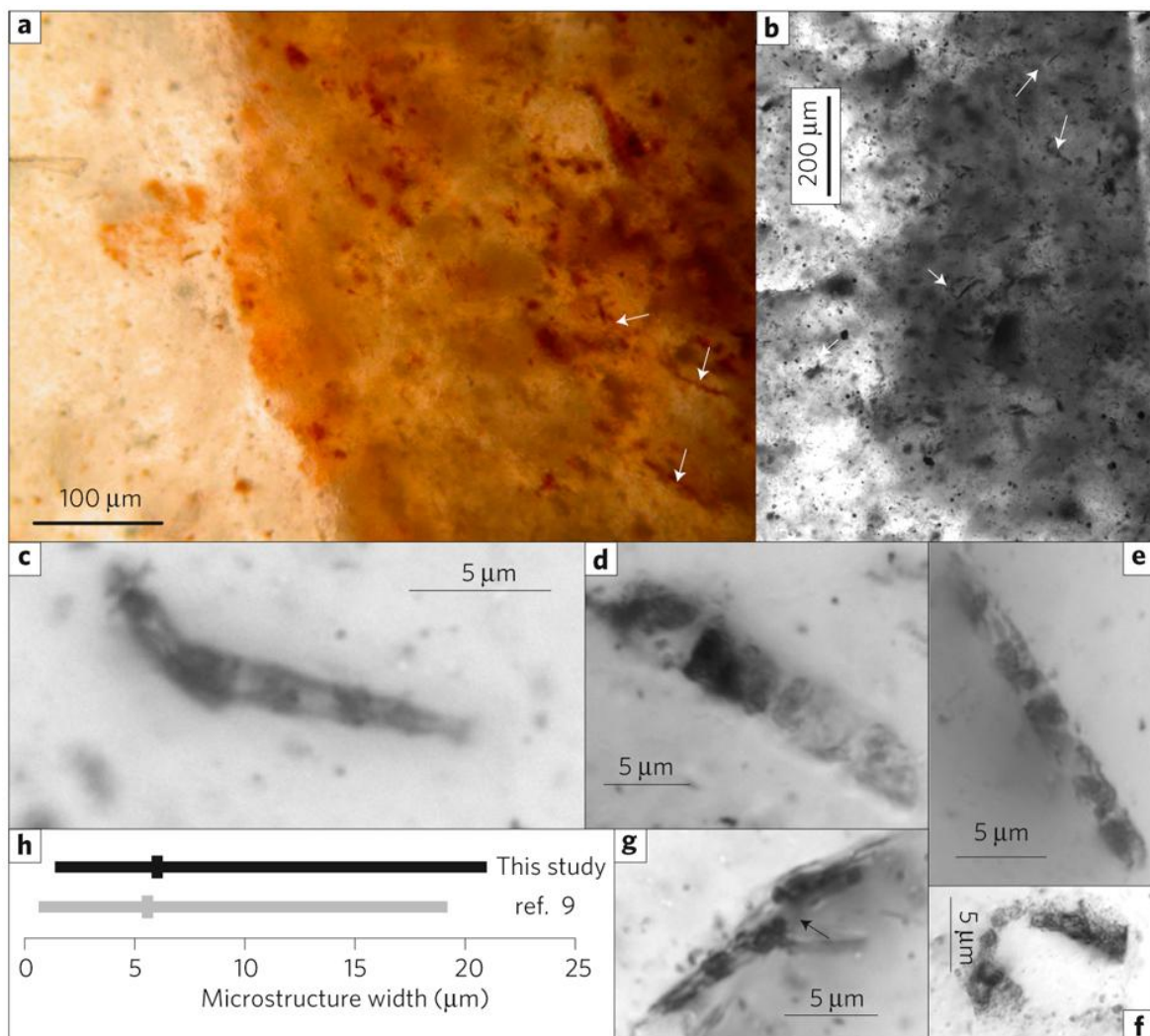
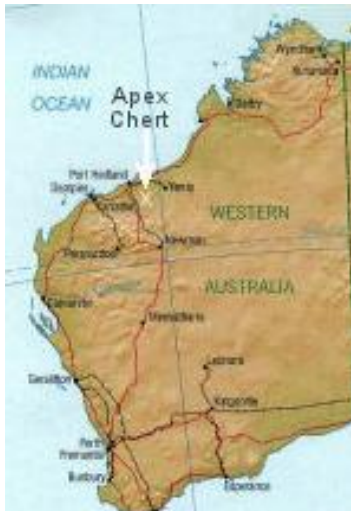
A diagram a piritmintákban lévő szelén (Se) nyomelem-összetevő mennyisége alapján a becsült oxigenizációs görbét mutatja. Az oxigénszint % PAL a légköri szinteket jelöli, ahol a 100% PAL a Föld légköri oxigénjét képviseli a mai napon.

Az ősi tengerfenék kőzeteinek elemzésével Ross és ausztrál, orosz, amerikai és kanadai kollégái meg tudták mutatni, hogy az evolúció lassulása szorosan kapcsolódik az óceánok alacsony oxigénszintjéhez és biológiailag fontos elemeihez.



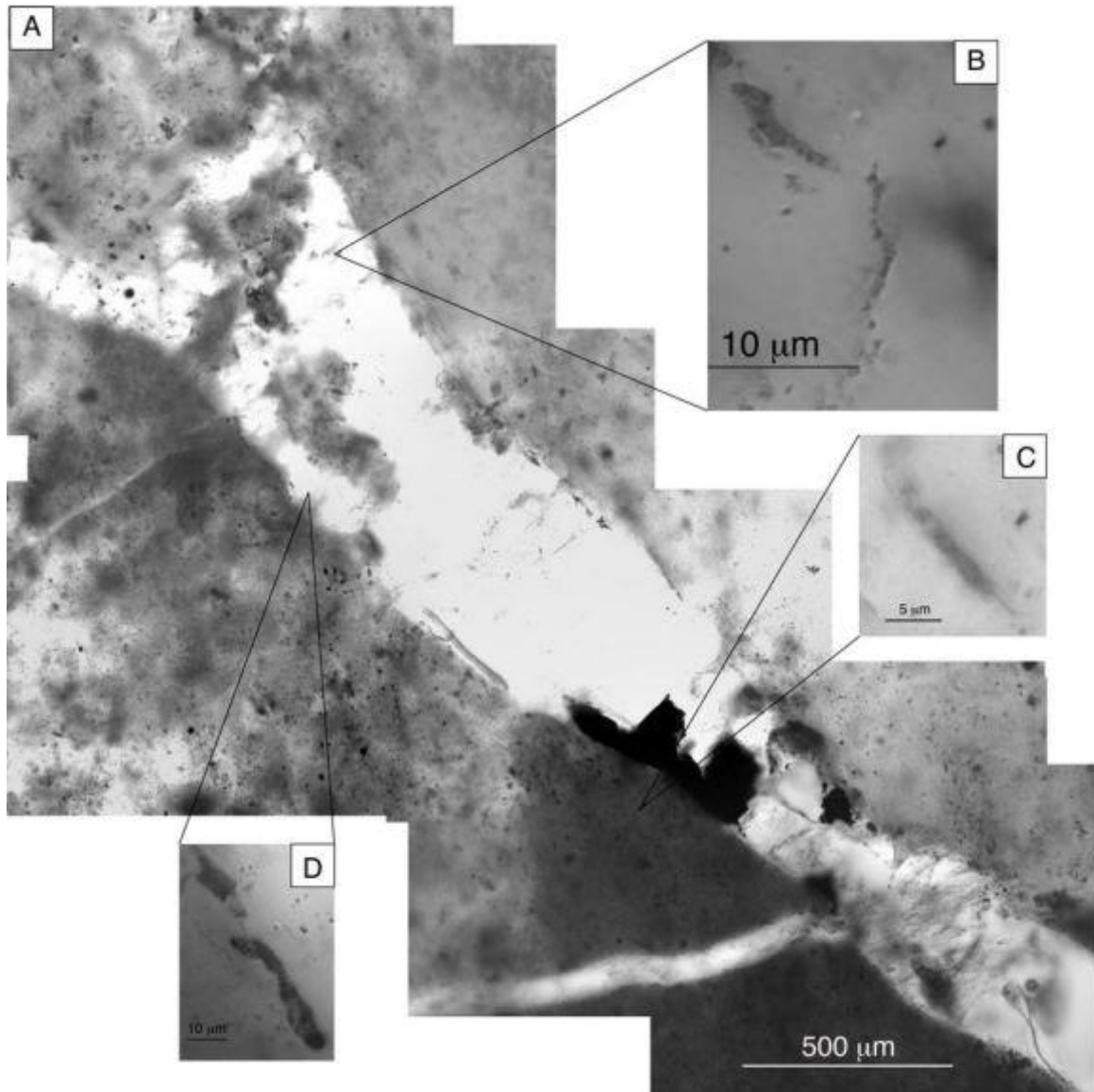
(forrás: fotó: Dylan Toh, Aerial View from a helicopter ride above hardy reef.
www.flickr.com/photos/dmtoh/2479377816/sizes/z/)

Illusztráció, egy ~3,5 milliárd évvel korábbi helyszín lehetséges képe.



(forrás: Craig P. Marshall, Julianne R. Emry, Alison Olcott Marshall: „Haematite pseudomicrofossils present in the 3.5-billion-year-old Apex Chert” in: Nature Geoscience, 2011. február 20., 4, 240–243, doi:10.1038/ngeo1084)

Dr. Alison Olcott Marshall kansasi kutató és csapata azonban megkérdőjelezték az Pilbara Apex kovakőben található élő fossziliák létét. A leletet úgynevezett Raman-spektroszkópiai vizsgálatoknak vetették alá, s a fosszilis szálak helyett - melyeket a baktériumoknak tulajdonítottak: hematitot és kvarcot mutattak ki. A szálak semmilyen szénfélért nem tartalmaztak, amely bakteriális biológiai eredetre utalna.



(forrás: Lin Edwards: Oldest fossils ever found may not be fossils after all, Phys.org 2003-2013, Science X network, 2011. február 21. <http://phys.org/news/2011-02-oldest-fossils.html#jCp>, a Nature Geoscience, 2011. február 20., 4, 240–243, doi:10.1038/ngeo1084képek felhasználásával készült)

A fotomikrográfok montázsán a vizsgált három mikrostruktúra elhelyezkedése látható.

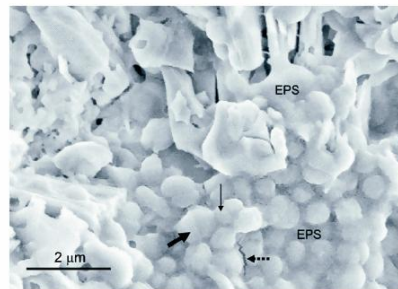


Fig. B39 Putative microfossils from the Panorama Formation as viewed in the SEM (Image reproduced from Westall et al., 2006, under the fair usage policy of the Geological Society of America)

A 3,45 milliárd éves Panorama Formáció (Kelet Pilbara, Nyugat Ausztrália) vélhetően beágyazott mikrofosszília formáció, kétféle méretű mikrobiológiai „extracellular polimeric substance” (EPS) extracellularis polimer lánc (ismétlődő szerkezeti egységekből – monomerekből - álló, óriásmolekula), a földi élet korai lehetséges nyoma.

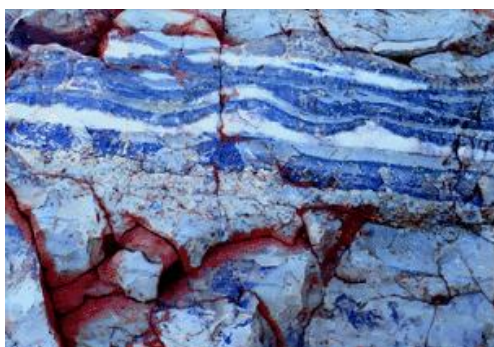


Fig. B63 Thin section image of micro-tubular structures within the Euro Basalt (Photograph courtesy of Nicola McLoughlin)

A 3,35 milliárd éves Euro Basalt (Kelet Pilbara, Nyugat Ausztrália), bazalt kőzetben talált mikro-cső struktúra, nyom fosszília, szintén lehet a korai földi élet fennmaradt nyoma.

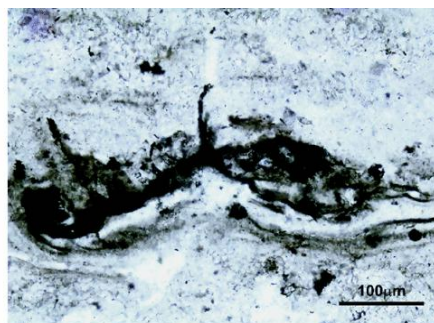
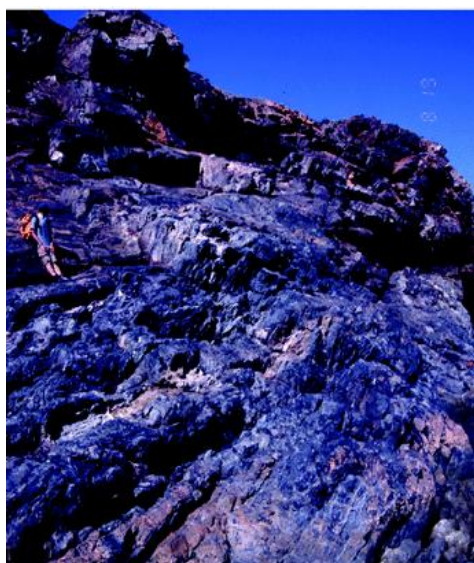


Fig. B79 Thin section image of part of a putative microbial mat from the Dixon Island Formation (Image courtesy of S. Kiyokawa)

A 3,2 milliárd éves Dixon Island Formation (Cleaverville Greenstone Belt, Nyugat Pilbara, Nyugat Ausztrália), rétegzett fekete kova kőzetben valószínűleg vasoxidáló, nem oxigén termelő baktérium, mikrobális maradványa, a földi élet korai nyoma lehet.

(forrás: Wacey, David: Early Life on Earth, A Practical Guide 2009. Springer Science Business Media B.V.)



(illusztráció forrása: Shark Bay Stromatolites - Western Australia,
[https://th.bing.com/th/id/OIP.kZc8Pp7mYSImyyC9W8BIPAHaLG?pid=Img
Det&rs=1](https://th.bing.com/th/id/OIP.kZc8Pp7mYSImyyC9W8BIPAHaLG?pid=ImgDet&rs=1))

A Carnegie Intézet munkatársa Nora Noffke és Robert Hazen, új tanulmányában egy ~3,5 milliárd éves ausztráliai üledékes kőzetekben megőrződött bakteriális társulás maradványait fedezte fel, amely bepillantást enged a földi élet evolúciójának első időszakába.

A kutatás eredményeit az *Astrobiology* című folyóiratban tették közzé.



(forrás: Pilbara home to 3.5 billion-year-old bacterial ecosystems
Phys.org, 2013. november 11., http://phys.org/tags/sedimentary+rocks/Earliest_evidence_of_life_found:_3.49_billion_years_ago,
online.liebertpub.com/doi/pdfplus/10.1089/ast.2013.1030
Astrobiology, University of Australia)

Ósi fotoszintetizáló baktériumok kis halom-szerű sztromatolitoknak hívott lerakódásokat hoztak létre több milliárd éve. A kutatók a baktériumok mikrofossziliáit is részletesen leírták már. Azonban egy MISS-nek (microbially induced sedimentary structures) azaz mikrobák által létrehozott üledékes szerkezeteknek hívott jelenséget még nem tapasztaltak ebben a régióban. Ezek a szerkezetek a ma álló vizek felszínén vagy árapályövi síkságokon kialakuló mikrobiális szőnyeghez hasonlóan jöhettek létre.

Noffke és Hazen mellett a kutatásban Daniel Christian (Old Dominion University) és David Wacey (University of Western Australia) vett részt. Speciális vegyi elemzések azt sugallják, hogy a szerkezetek biológiai eredetűek. A Dresser formáció MISS fossziliái formájukat és megtartásukat tekintve erősen hasonlítanak néhány fiatalabb lelethez, mint pl. egy, Noffke és kollégái által Dél-Afrikában talált 2,9 milliárd éves ökoszisztéma nyomaira.

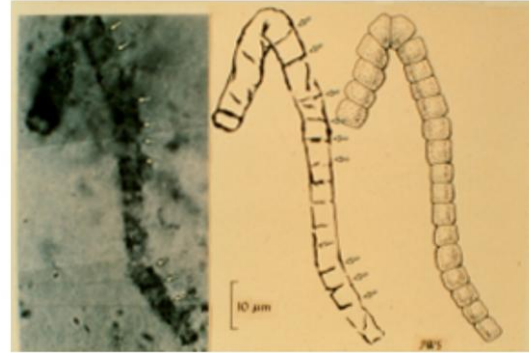
A kutatók szerint ezek a nyomfossziliák baktérium filmek parti üledékekkel történő kölcsönhatása által jöhettek létre.

A 3,465 milliárd éves Warrawoona (Pilbara Craton, Nyugat Ausztrália) kőzetekben fonal alakú, szerves sejtfalú mikrofossziliákat találtak, melyek szerkezete hasonlít a fonalas mikrobáékhoz, bizonyos sejtrendeződésük a ma élő cianobaktériumok (kék algák) felépítésének felel meg.

D. R. Lowe és M. R. Walter és munkatársai 1980-ban számoltak be a felfedezésükről, a 3,4-3,5 milliárd éves sztramatolitekról.

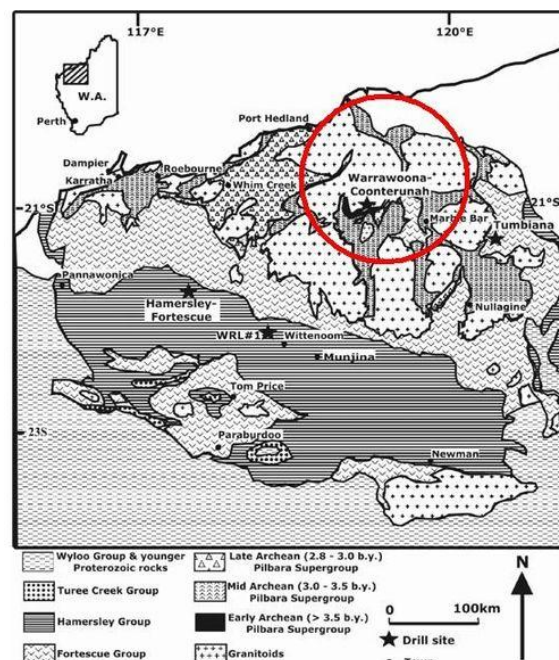


WARRAWOONA PROKARYOTIC MICROFOSSIL PILBARA CRATON WA ~ 3.5 Ga
(J.W. SCHOPF, 1983)



„Warrawoona Group” Mikrofossziliák 3,47 milliárd éves kőzetrétegben (Donald R. Lowe: „Stromatolites 3,400-Myr old from the Archean of Western Australia” *Nature* 284, 441-443, 1980. április 03., és M. R. Walter, R. Buick & J. S. R. Dunlop: „Stromatolites 3,400–3,500 Myr old from the North Pole area, Western Australia” *Nature* 284, 443-445, 1980. április 03.)

S. M. Awramik 1983-ban a nyugat-ausztráliai Pilbara tartomány Warrawoona régiójának geológiai területén fossziliában fonalas, cső mikrobiális formátumokat fedezett fel. (Early Organic Evolution 1992, pp 435-449, Stanley M. Awramik: The History and Significance of Stromatolites, és A. C. Allwood, J. P. Grotzinger, A. H. Knoll, I. W. Burch, M. S. Anderson, M. L. Coleman, and I. Kanik 2009.; Controls on development and diversity of Early Archean stromatolites; *PNAS* 106, 9548-9555)

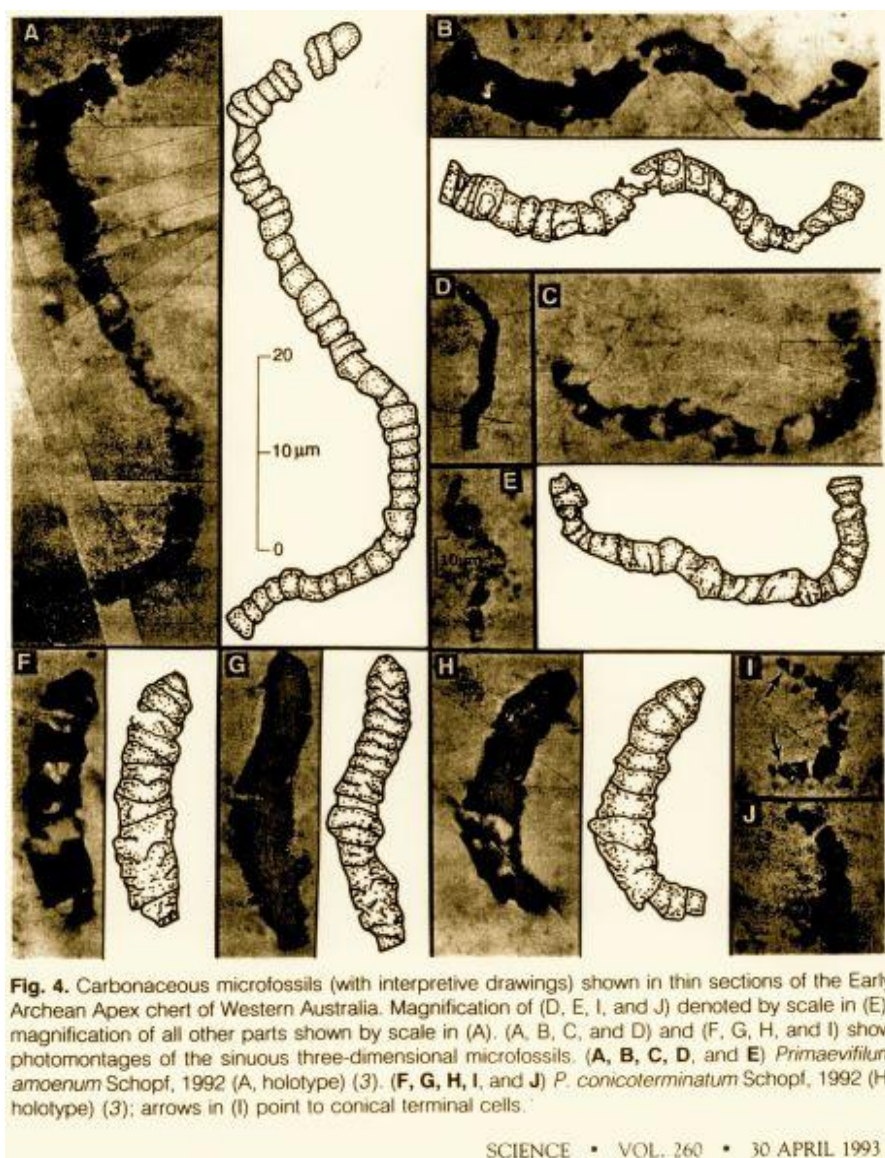


A fossziliákat később is elemzésre kerültek 1987-ben, J. W. Schopf és B. M. Packer, megerősítette azt a feltételezést, hogy a Warrawoona csoport fossziliáiban cianobaktériumok 3,3-3,5 milliárd évesek. (J. W. Schopf and B. M. Packer: „Early Archean (3.3-billion to 3.5-billion-year-old) microfossils from Warrawoona Group, Australia” *Science* 1987. július 03., Vol. 237. no. 4810, pp. 70 - 73 DOI: 10.1126/science.11539686)

Nyugat-Ausztráliában, a Pilbara craton az egyik legősibb ismert kőzetréteg a földön. A réteg kristályokban gazdag szilícium-dioxid üledékes kőzetét 2002-ben találták meg, a Pilbara Apex kovakövet, mely 3,5 milliárd éves.

A legősibb életnyomok között említhetők az Apex Chert-ben talált kb. 3,465 milliárd éves sejtszerkezet-fossziliák, filamentózus (fonalas megjelenésű) mikroba kövületek – olvashatjuk a *SIENCE* 1993. áprilisi 30-ai számában J. William Schopf írásában - prokarióták (elősejtmagosok vagy sejtmag nélküli egysejtűek „Prokaryota” vagy „Monera” egysejtű – ritka esetekben többsejtű – körülhatárolt sejtmag nélküli élőlények).

Több mint tizenegy féle baktériumot írtak le. Mivel ezek már cellulárisak, pár százmillió éves evolúciónak már le kellett zajlania

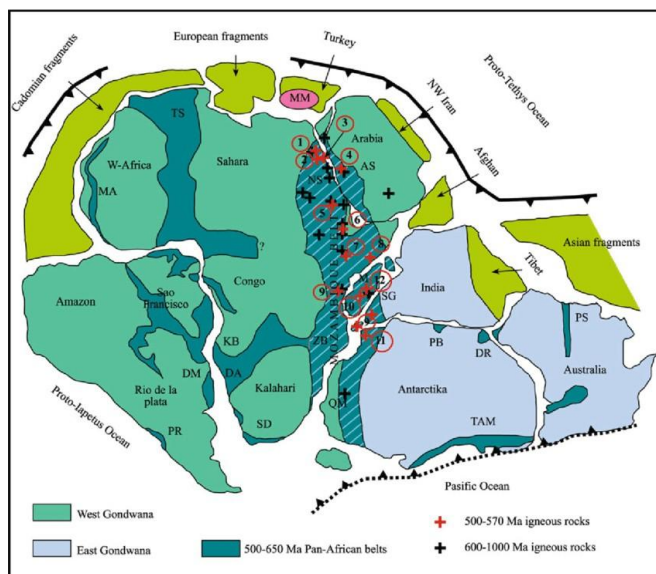
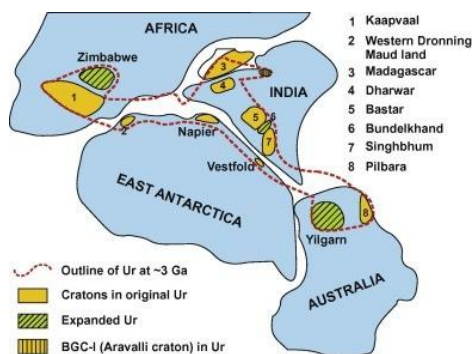


(forrás: J. William Schopf „Microfossils of the Early Archean Apex Chert: New Evidence of the Antiquity of Life” *Science*, 1993 Apr 30., 260:640, 642f.)



(illusztráció forrása: archenv.geo.uu.nl, és www.slideshare.net/debdrey/geologic-time-scale1)

Sztromatolitok, réteges kőképződmények, amelyek sekély vizekben épültek fel oly módon, hogy a cianobaktériumok egymásra növekvő rétegeibe berakódtak és összecementálódtak a kőzetüledék morzsái.

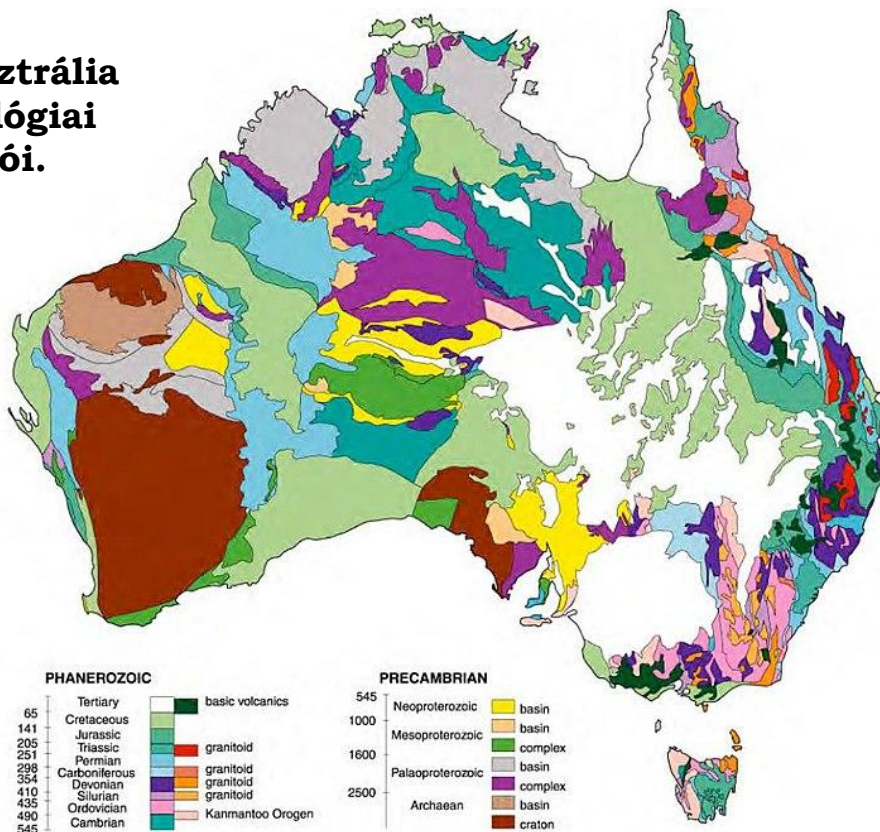


Ur (Őskontinens)
 ~3,0 milliárd évvel ezelőtt.
 Ma darabokban része
 Ausztráliának, Indiának,
 Afrikának és Madagaszkárnak.

(forrás. www.researchgate.net/figure/Late-Proterozoic-Cambrian-paleogeographic-map-of-the-Gondwana-super-continent-modified_fig11_256765781)

A Gondwana szuperkontinens késő proterozoikumi/kambriumi paleogeográfiai térképe (Wilson et al. 1997 és Kröner és Stern 2005 után módosítva). A magmatikus kőzetek elhelyezkedése 500-570 Millió évvel ezelőtt. (Moghazi (2002) nyomán, Gessner et al. (2004).

Ausztrália geológiai régiói.



(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Australia?utm_source=wordtwit&utm_medium=social&utm_campaign=wordtwit)



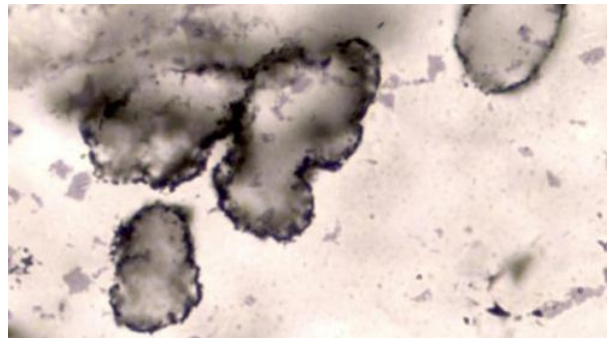
3,4 milliárd éves
fossilis Stromatolites

A 3,46 milliárd éves Strelley
Pool Chert (Pilbara, Nyugat-
Ausztrália).

Nyugat-Ausztráliában a Strelley Pool Chert 3,46 milliárd éves tengeri kőzetekben cianobaktériumokhoz (kékbaktériumok) hasonló sejtrendeződések, azaz fotoszintetizálók által létrehozott üledékszerkezet, sztromatolitot (sztróma = réteg és a lithosz = kő) találtak.

A cianobaktériumok telepes baktériumszőnyeget alkotnak, melyre a hullámozás finom szemcséket ülepít. Ezeket a szemcséket a baktériumok túlnövik, és hosszú évek alatt réteges, oszlopszerű kőzetek, sztromatolitok képződnek.

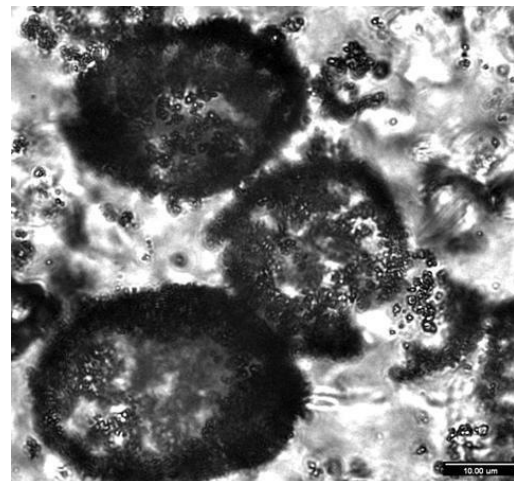
A Strelley Pool Formáció (Pilbara Craton, Western Australia) a legrégebbi fossziliák közé tartozik, ebben a klaszterban (csoportban) gömb alakú és ellipszoidi microfossziliák találhatóak.



A képen látható microfossziliák kénlebontó baktériumok. A középső egy megrepedt falú cella.

Lehetnek a korai földi élet fennmaradt nyomai.

(David Wacey, Matt R. Kilburn, Martin Saunders, John Cliff, Martin D. Brasier. Microfossils of sulphur-metabolizing cells in 3.4-billion-year-old rocks of Western Australia. Nature Geoscience, 2011; DOI: 10.1038/ngeo1238)



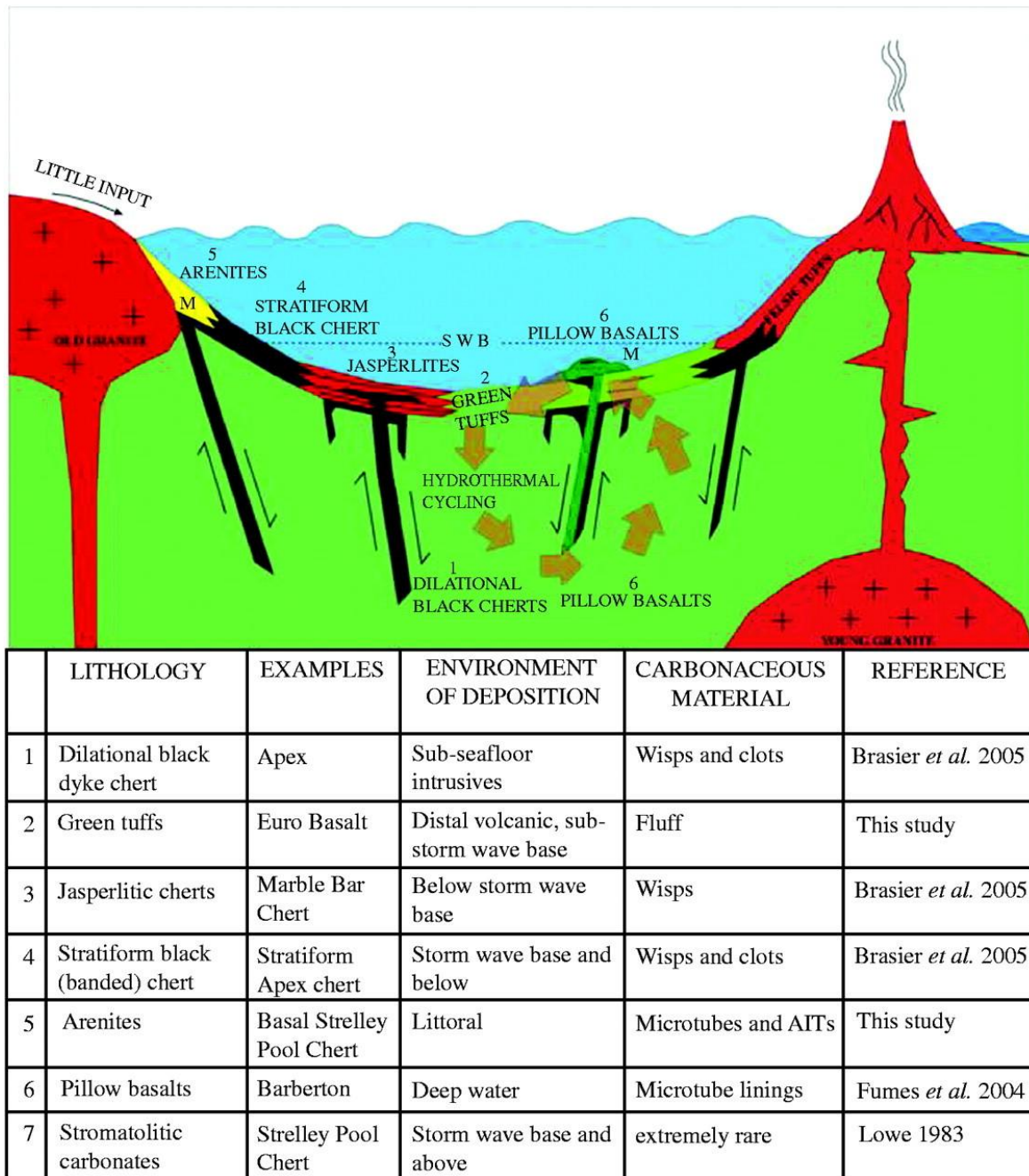


Figure 1 A generalized model for the occurrence of carbonaceous matter in Archaean cratons at ca 3.4 Gyr, based on field mapping in the Pilbara. SWB, storm wave base; M, known microtube localities; AIT, ambient inclusion trail. Isotopically light carbonaceous matter is not restricted to surface environments, it is also found within numerous deep, hydrothermal dyke systems.

(forrás: Martin Brasier, Nicola McLoughlin, Owen Green and David Wacey: A fresh look at the fossil evidence for early Archaean cellular life, *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, Vol. 361, No. 1470, Major Steps in Cell Evolution: Palaeontological, Molecular and Cellular Evidence of Their Timing and Global Effects (Jun. 29, 2006), pp. 887-902 (16 pages), Published By: Royal Society, <https://www.jstor.org/stable/20209691>)

A karbonaceous (széntartalmú) anyag előfordulásának általános modellje az archea-i cratonokban.



(illusztráció forrása: www.wallpaperflare.com/)

Illusztráció, ~3 milliárd évvel korábbi helyszínek lehetséges képei.

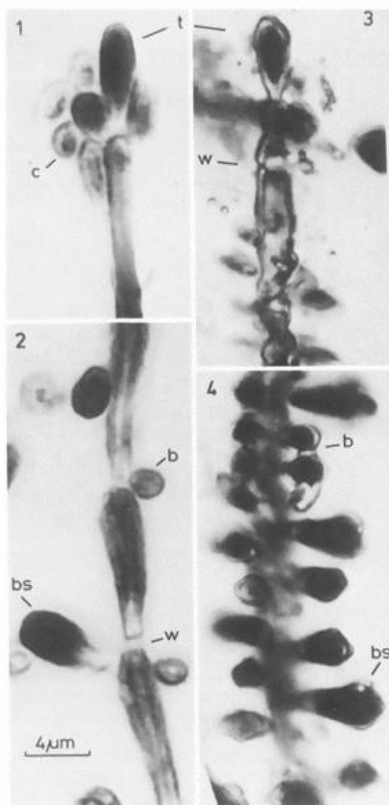
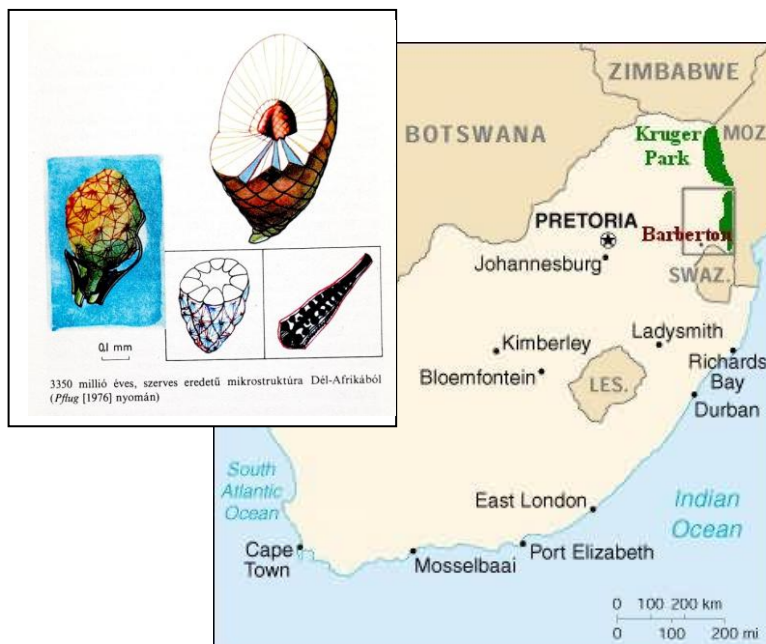


Fig. 1. 1, 2 *Candida tropicalis* (Cast.) Berkhout, recent, dehydrated and stained with carbol fuchsin; 3, 4 *Ramsaysphaera ramses* Pflug from the ca. 3400-million-year-old Swartkoppie chert of South Africa; *b* young bud, *bs* blastospore, *w* filamental cross wall, *t* terminal bud, *c* blastospore in terminal cluster

A legkorábbi fossziliák közé számítanak a dél-afrikai, 3,4 milliárd éves, Ramsey-gömböknek nevezett, 0,5-5 mm méretű maradványok is, amelyeknek osztódásos szaporodási folyamatának nyomait is megőrizte a kovaanyagú üledékes kőzet.



3350 millió éves, szerves eredetű mikrostruktúra Dél-Afrikából (Pflug [1976] nyomán)

(forrás: Hans D. Pflug: „Yeast-like microfossils detected in oldest sediments of the earth” *Naturwissenschaften*, December 1978, Volume 65, Issue 12, pp 611-615 és Géczy Barnabás, *Az eltűnt élet nyomában*, Gondolat, 1974.)

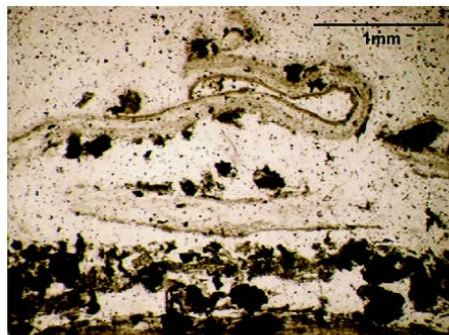
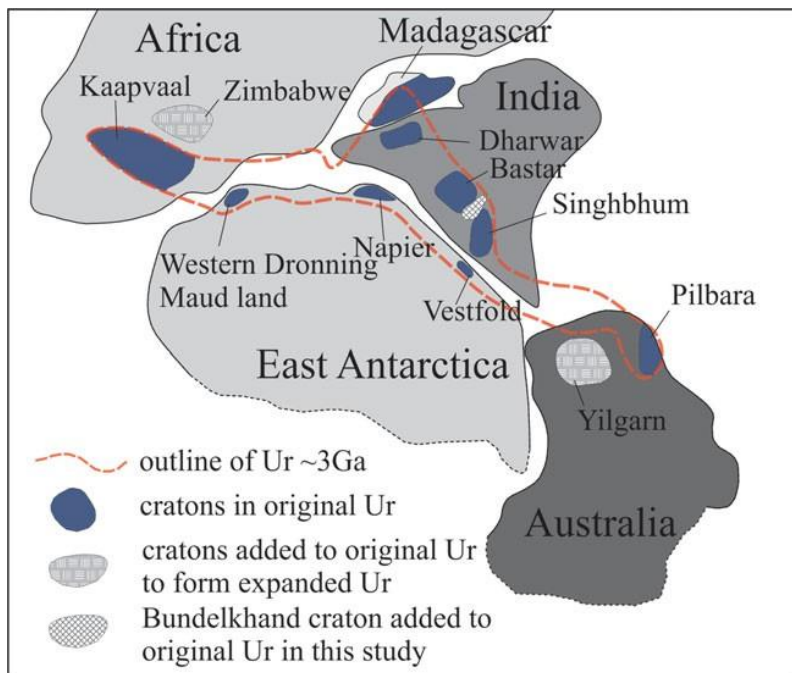


Fig. BS4 Putative microbial mat from the Kromberg Formation (Image from the Oxford Palaeobiology Collections)

(forrás: Wacey, David: *Early Life on Earth, A Practical Guide* 2009. Springer Science Business Media B.V.)

A 3,416–3,334 milliárd éves Kromberg Formáció (Barberton, Dél-Africa). rétegtelt kova kőzetben karbonátdús lemezeken elkülönülve fotoszintetizáló és valószínűleg nem oxigéntermelő mikroba, a földi élet korai, jól elemezhető, biztos érvekkel alátámasztott nyoma.



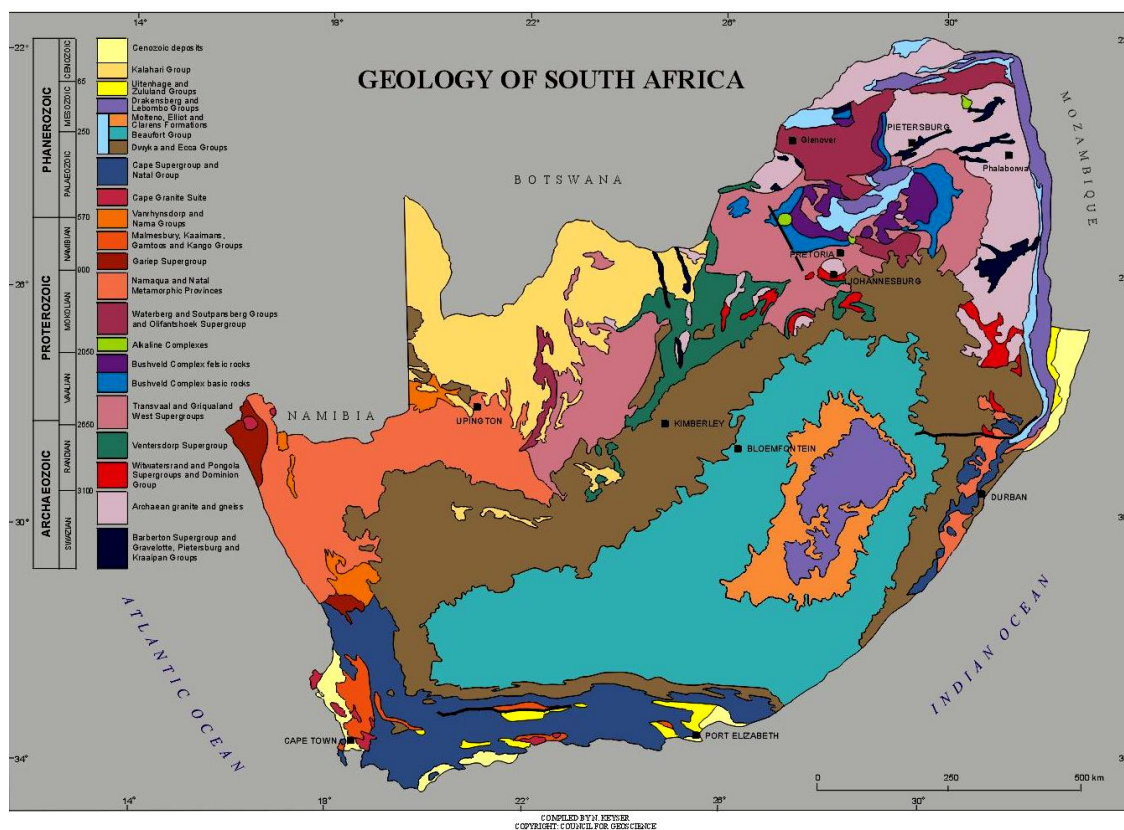
(forrás: J. Gregory Shellnutt (National Taiwan Normal University) K.R. Hari (Pt. Ravishankar Shukla University) Alice C.-Y. Liao (Steven Denyszyn (University of Western Australia): A 1.88 Ga giant radiating mafic dyke swarm across Southern India and Western Australia, February 2018 Precambrian Research 308,

DOI:10.1016/j.precamres.2018.01.021,

https://www.researchgate.net/figure/Colour-online-Schematic-diagram-showing-position-of-the-Bundelkhand-Craton-in-the-Ur_fig5_283541987)

Sematikus ábra, az Ur Szuperkontinensről (Rogers, 1996 után).

Ur (Öskontinens) ~3,0 milliárd évvel ezelőtt. Ma darabokban része Ausztráliának, Indiának, Afrikának és Madagaszkárnak.



(forrás: www.pinterest.co.uk/pin/118149190198346289/)

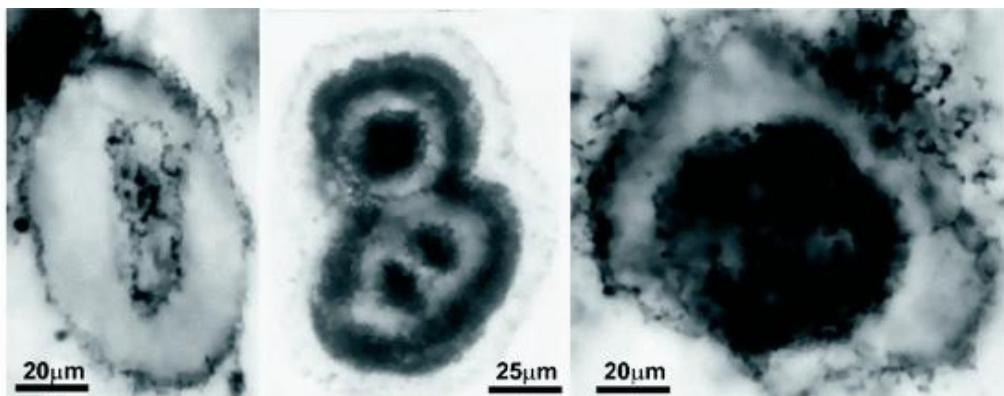
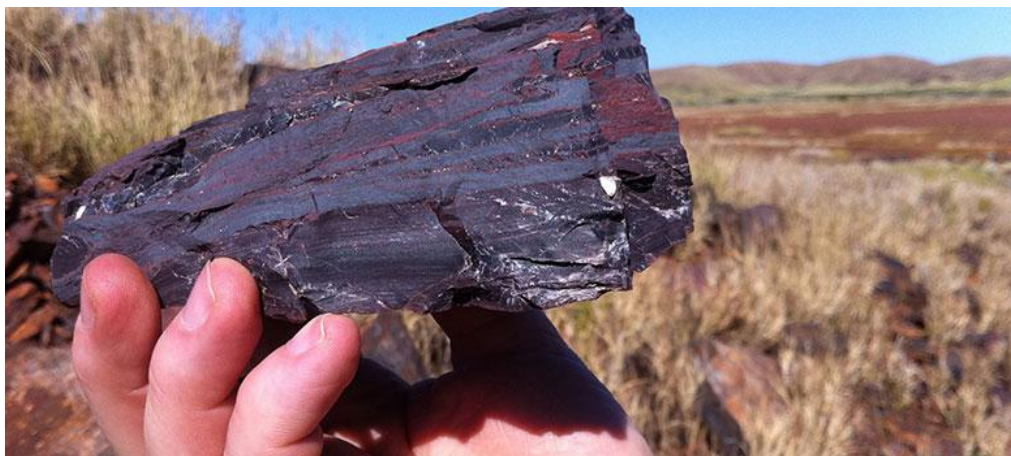


Fig. B84 Regular and irregular carbonaceous spheroids from the Cleaverville Formation (Images courtesy of Yuichiro Ueno)

(forrás: Wacey, David: *Early Life on Earth, A Practical Guide* 2009. Springer Science Business Media B.V.)

A 3 milliárd éves Cleaverville Formáció (Cleaverville Greenstone Belt, Nyugat Pilbara, Nyugat Ausztrália), magnetit tartalmú sávos vasérc (BIF) fekete kovakő és váltakozva széntartalmú iszap rétegek, melyekben szferoidokat (csaknem gömb alakú, forgási ellipszoid) alakú a mikrofossziliák találhatóak. A lelet a földi élet korai nyomának is értelmezhető.



(forrás: NASA, www.astrobio.net/news-exclusive/habitability-of-the-young-earth-could-boost-the-chances-of-life-elsewhere/)



(forrás: Data: NASA/ Art: Kees Veenenbos,
<https://sociopath-ru.livejournal.com/76602.html>)

Illusztráció, ~3 milliárd évvel korábbi lehetséges helyszínek képei.



A kiömlési magmás kőzetek, egészen pontosan a bazalt igen gyakran előforduló, érdekes formája a párnaláva. Tenger alatti vulkánkitörések során keletkező jellegzetes, párnák halmazára emlékeztető vulkanikus kőzetszerkezet. Viszonylag sekély vízben vagy jégréteg alatt is kialakulhat.

A felszínre kerülő körülbelül egy méter nagyságú lávadarabok az óceán fenekén gördülnek egy ideig, majd a hideg víz hatására megszilárdulnak.

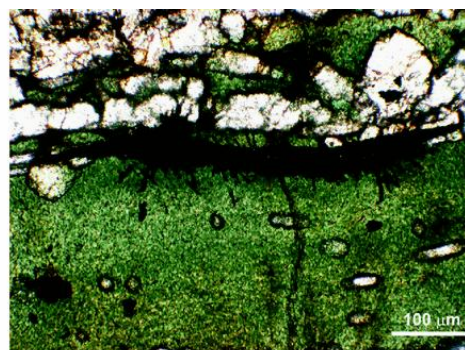


Fig. B26 Putative trace fossils (dark tubes in centre of image) within a pillow basalt (Photograph courtesy of Nicola McLoughlin)

A 3,45 milliárd éves, Hoogenoeg Formáció (Barberton, Dél-Africa), a „pillow lava” (párnaláva) kőzetben mikro-cső formáció, mikrobiális eredetre lehet következtetni, a földi élet korai lehetséges nyoma.

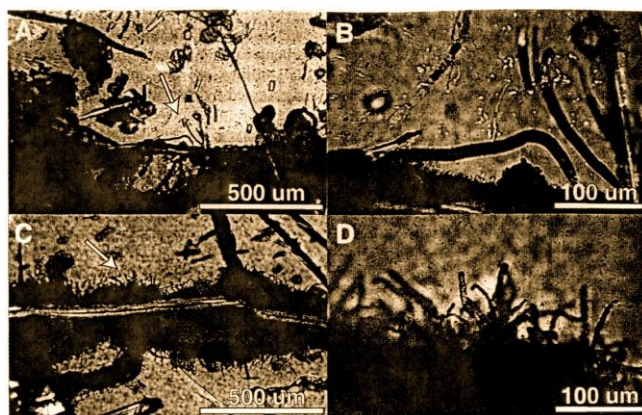


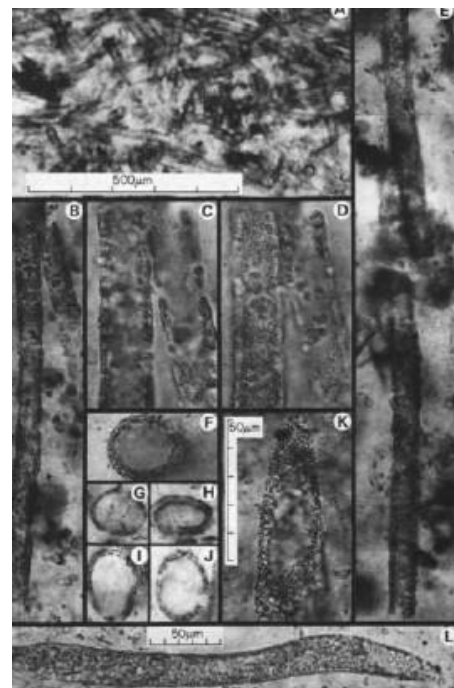
Fig. 2. Tubular structures of inferred microbial origin in basaltic glass from the Troodos ophiolite (A and B) and modern oceanic crust (C and D). (A) Photomicrograph of the glassy chilled margin of a pillow (sample CY-1-35). (B) Detail from (A) [indicated by arrow in (A)] showing tubular structures in fresh glass. (C) Photomicrograph of a modern pillow margin (Ocean Drilling Program sample 148-896A, 11R-01, 73-75 cm) showing microbial alteration features of fresh basaltic glass (light yellow) along fractures. (D) Detail from (C) [indicated by arrow in (C)] showing tubular structures of microbial origin protruding into the fresh glass.

(forrás: Richard A. Kerr:
„New Biomarker Proposed for
Earliest Life on Earth.” Science
304:503.,
2004 Aprilis 23.

és
Harald Furnes, Neil R. Banerjee,
Karlis Muehlenbachs, Hubert
Staudigel, and Maarten de Wit :
„Early Life Recorded in Archean
Pillow Lavas.” Science 304:578,
580f.,2004 Aprilis 23)

A) és B) bazalt kőzetben mikro-cső formáció,
hasonlít a C) és D) modern óceáni kéregre.

Dél-Afrikában, a legidősebb archaikumi formációk sorozatain át fosszilis maradványok alapján nyomon követhető a legritívebb élőlények: baktériumszerű szervezetek megjelenése. Alsó részét a 3,3 milliárd éves Onverwacht-sorozat alkotja, melyben nagyon egyszerű mikrofossziliákat találtak, melyek a preorganizmusokra emlékeztetnek. Felső részét az uralkodóan finomszemű üledékekből felépült Fig-Tree-sorozat alkotja, melyet 3,0 milliárd éves pegmatit-telér tör át (ennek alapján kora 3,1 milliárd évre becsülhető). Ez már-már sokkal változatosabb és fejlettebbnek látszó mikrofossziliákat zár magába. Gömb, pálcika és fonál alakú, mikrométernél alig nagyobb szerkezetek ezek. Egyes típusaikat *Eobacterium isolatum* néven írták le. Elfogadhatónak látszik tehát az az általános nézet, hogy a Fig-Tree-sorozat képződése idején, 3,1 milliárd évvel ezelőtt már baktériumok és egyszerű algák éltek a Földön.



Paleoproterozoic stromatolites,
Malmani Dolomite (Transvaal Supergroup)
Kapaal Craton, Limpopo tartomány,
Dél-Afrika

Transvaal Supergroup, Afrika
2,55 milliárd éves mikrofossziliák

(forrás: blogs.agu.org/mountainbeltway/2012/01/24/paleoproterozoic-stromatolites-from-the-malmani-dolomite/)



(forrás: tudomany/2016/07/26/
tengeri_vulkanoknal_elhetett_minden_foldi_eloleny_kozos_ose/)



(forrás: <https://pixels.com/featured/earths-first-oceans-richard-bizley.html>)

Illusztráció, egy ~3 milliárd évvel korábbi helyszín lehetséges látképe.

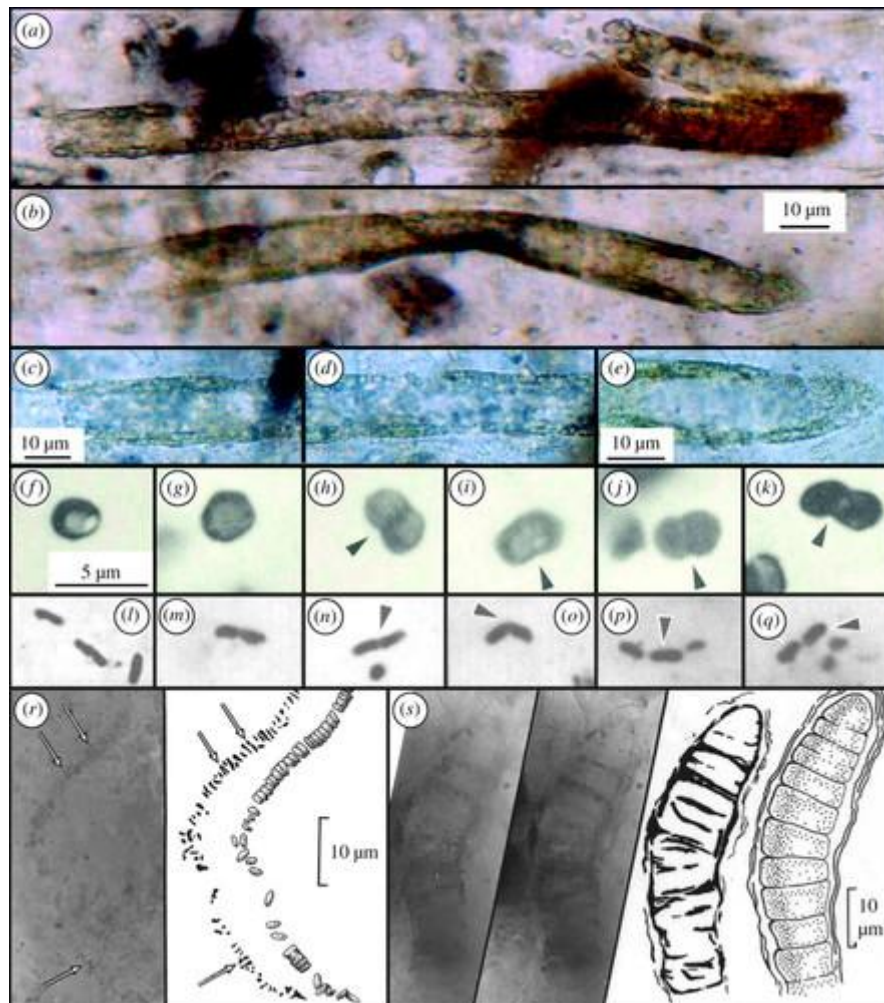


Figure 3 *ca* 2500–2700 Myr old Archaean microfossils photographed in petrographic thin sections. (a–e) Broad prokaryotic (oscillatoriacean cyanobacterium-like) tubular sheaths (*Siphonophycus transvaalense*) from the *ca* 2516 Myr old Gamohaian Formation of South Africa (Klein *et al.* 1987; Buick 2001); scale for parts (a) and (b) shown in (b); scale for parts (c) and (d) shown in (c). (f–k) Solitary and paired (denoted by arrows) prokaryotic (bacterial or cyanobacterial) coccoidal unicells and (l–q) solitary and paired (denoted by arrows) bacterium-like rod-shaped unicells from the *ca* 2600 Myr old Monte Cristo Formation of South Africa (Lanier 1986; Buick 2001); scale for parts (f–q) shown in (f) (modified after Lanier 1986). (r) Narrow prokaryotic (bacterial or cyanobacterial) septate filament and (s) broad sheath-enclosed prokaryotic (oscillatoriacean cyanobacterium-like) septate filament from the *ca* 2723 Myr old Tumbiana Formation of Western Australia (Schopf & Walter 1983).

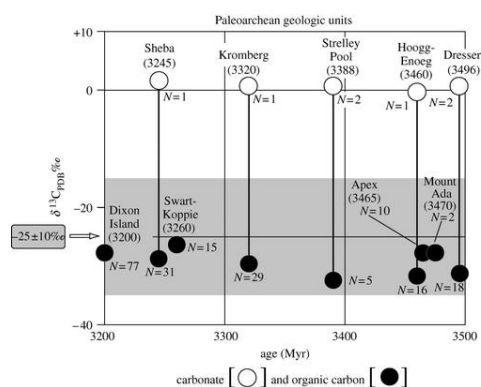
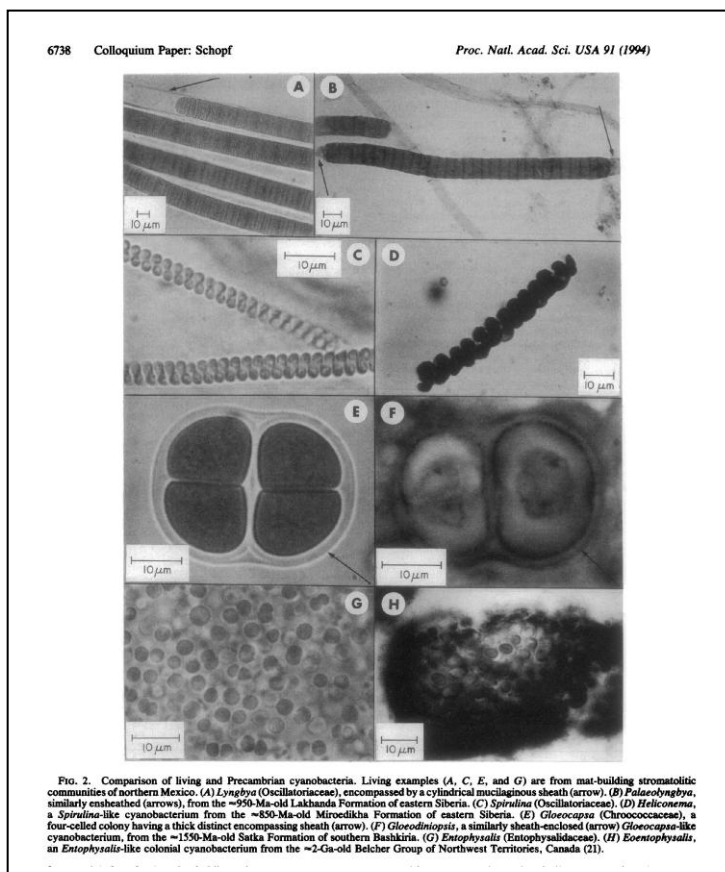


Figure 6 Carbon isotopic values of carbonate and organic carbon measured in bulk samples of the nine Palaeoarchean units reported to contain putative microfossils (Strauss & Moore 1992; Ueno *et al.* 2001a,b; Brasier *et al.* 2002).

(forrás: J. William Schopf
 „Fossil evidence of Archaean
 life” published Phil. Trans. R.
 Soc. B 2006 361, doi:
 10.1098/rstb.2006.1834 29
 June 2006
<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2006.1834>)

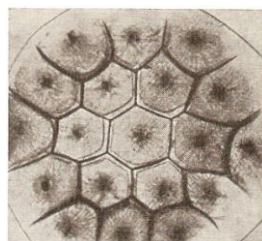
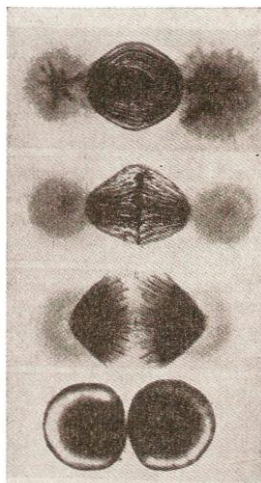
A proterozoikum elejére mind a mikrofossziliákat, mind a sztramatolitokat alkotó élőlények elszaporodtak.



A mikroszkópos képeken (mikrográfokon) egymás alatt (A, C, E, G) mai élő példákat, valamint mellettük párban (B, D, F, H) hasonló formákat Precambriumi cyanobaktériumokat láthatunk.

(forrás: J. William Schopf: „Disparate rates, differing fates: Tempo and mode of evolution changed from the Precambrian to the Phanerozoic” Proc. Natd. Acad. Sci. USA Vol. 91, pp. 6735-6742, July 1994., Colloquium Paper)

A formai hasonlóságok azonban nem mindig jelenti egyértelműen az élet nyomait. Ezt kívánta bizonyítani néhány kutató, Traube, Bütschli, Rhumbler, és Leduc modelljeikkel, amelyek a sejtek formáját, egyes élet jelenségeket (táplálkozást, ingerlékenységet, sejtosztódást, mozgást stb.) igyekeztek utánozni.



Mesterséges „sejt”-alakulatok kis töménységű konyhasóoldatban, amelybe festett tömény konyhasóoldatot cseppentettek (Leduc után)

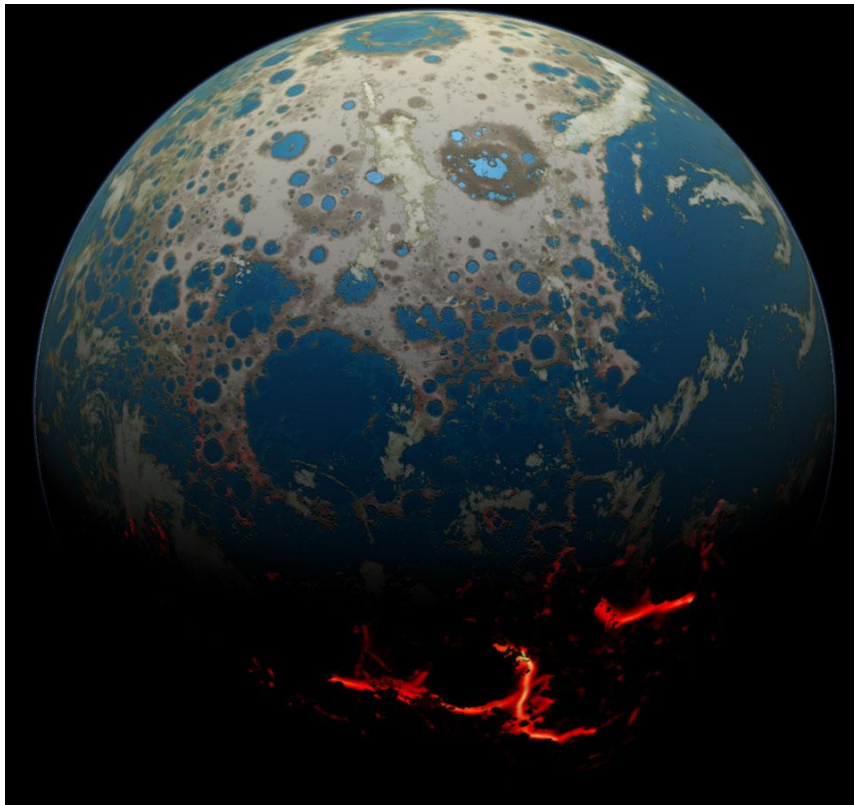
Különböző töménységű festett konyhasócsappokkal utánzott sejtosztódási alakzatok (Leduc után)

Vízüvegben és zselatinban kialakult ozmotikus alakzatok: algák, gombák (Leduc után)



Szuperkontinensek

A fejlődésükre a földtörténet során több modell is született. Az egyik modell elmélete, szerint az Archaikum földtörténeti időben feltételezhetően két elkülönült szuperkontinens létezett, Vaalbara (3,636-2,803 milliárd évvel ezelőtt) és Kenorland (2720-2450 milliárd évvel ezelőtt). A neoarchaikumi szuperkontinens Superiából és Sclaviából állt. Ezek a részek a neoarchaikumban leszakadtak mintegy 2480 és 2312 millió évvel ezelőtt, majd később összeütközve Nuna (Northern Europe North America, azaz Észak-Európa, Észak-Amerika) részei lettek (mintegy 1820 millió évvel ezelőtt). Nuna tovább fejlődött a mezoproterozoikumban, elsősorban fiatal korú földívekkel és más földdarabokkal összeütközve, mintegy 1000 millió évvel ezelőtt létrehozta Rodiniát. Mintegy 825-750 millió évvel ezelőtt Rodinia részekre szakadt. A „hógolyó Föld” klímája a kontinens feltöredezése által kiváltott változások következménye volt. Mielőtt azonban Rodinia teljesen szétszakadozott volna, néhány része újra egyesült Gondwanában (mintegy 530 millió évvel ezelőtt). Pangaea mintegy 300 millió éve alakult ki Gondwana, Laurázsia, Baltica és Szibéria összeütközéséből.

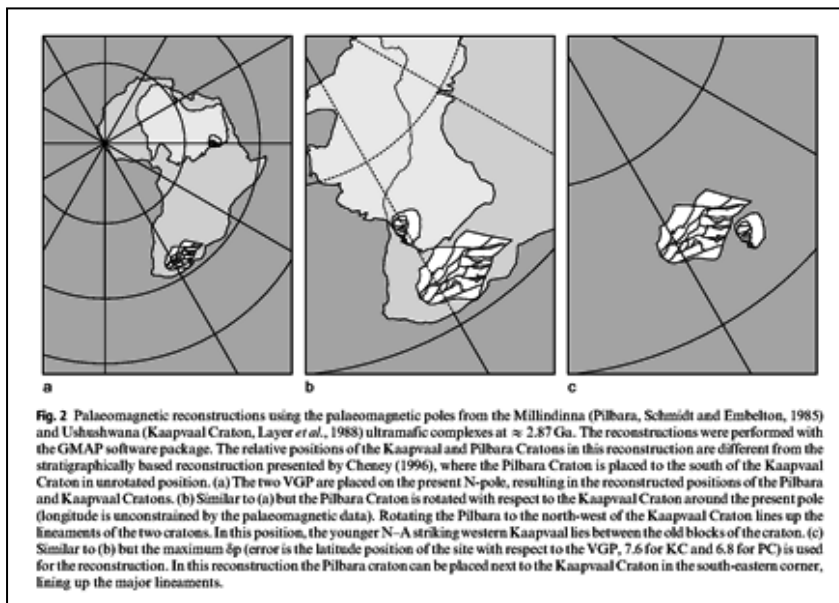


(illusztráció: Credit: Simone Marchi (SwRI), SSERVI, NASA, www.astronet.ru:8105/db/xware/msg/1318588)
A ~4 000 000 éves Föld.

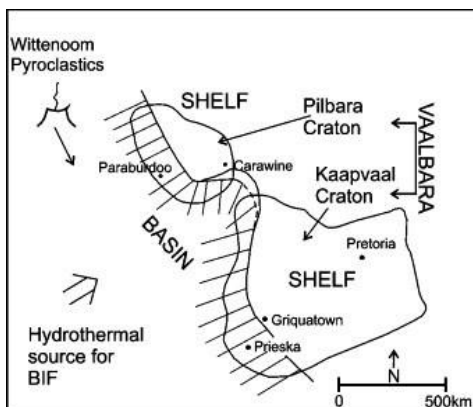
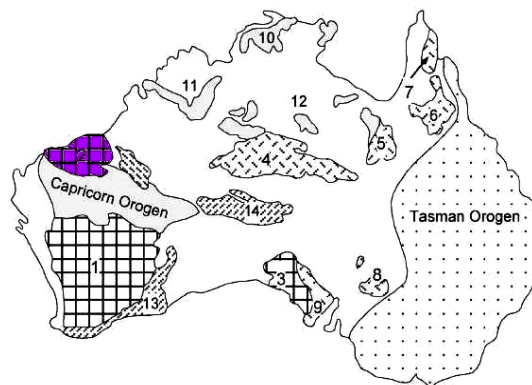
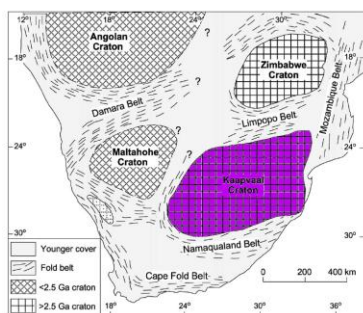
Vaalbara az első szuperkontinens, az eoarchaikum idején alakult ki.

A Kaapvaal Craton (Limpopo tartomány Dél-Afrika), valamint a Pilbara Craton (Nyugat-Ausztrália), fennmaradt területeiken érintetlen a 3,6-2,5 milliárd évvel ezelőtti kéreg.

A két pajzsterület (craton) kőzet hasonlósága, és a mért radiometrikus adatainak alapján, különösen a késő Archean szekvenciák, azt sugallják, hogy egykor része volt a Vaalbara szuperkontinensnek. (Zegers et al., 1998). A geokronológiai és paleomágneses azonosságokon túl további egyezés e két terület zöldkő (greenstone) és gneisz öveinek szerkezeti hasonlósága.



(forrás: T. E. Zegers, M. J. de Wit, J. Dann and S. H. White: Vaalbara, Earth's oldest assembled continent? A combined structural, geochronological, and palaeomagnetic test, *Terra Nova*, 10, 250±259, 1998, Blackwell Science Ltd)



(forrás: Guochun Zhao, Peter A. Cawood, Simon A. Wilde, Min Sun: „Review of global 2.1–1.8 Ga orogens: implications for a pre-Rodinia supercontinent” in: *Earth-Science Reviews* 2002 január 59., 125–162)

Validating the existence of the supercraton Vaalbara in the Mesoarchaean to Palaeoproterozoic

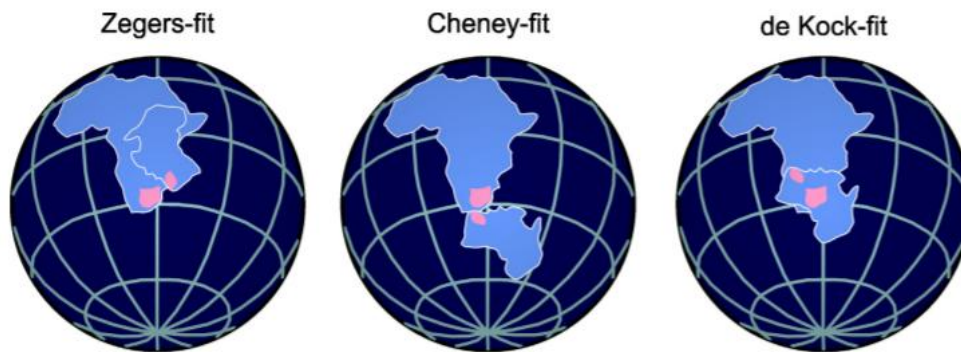
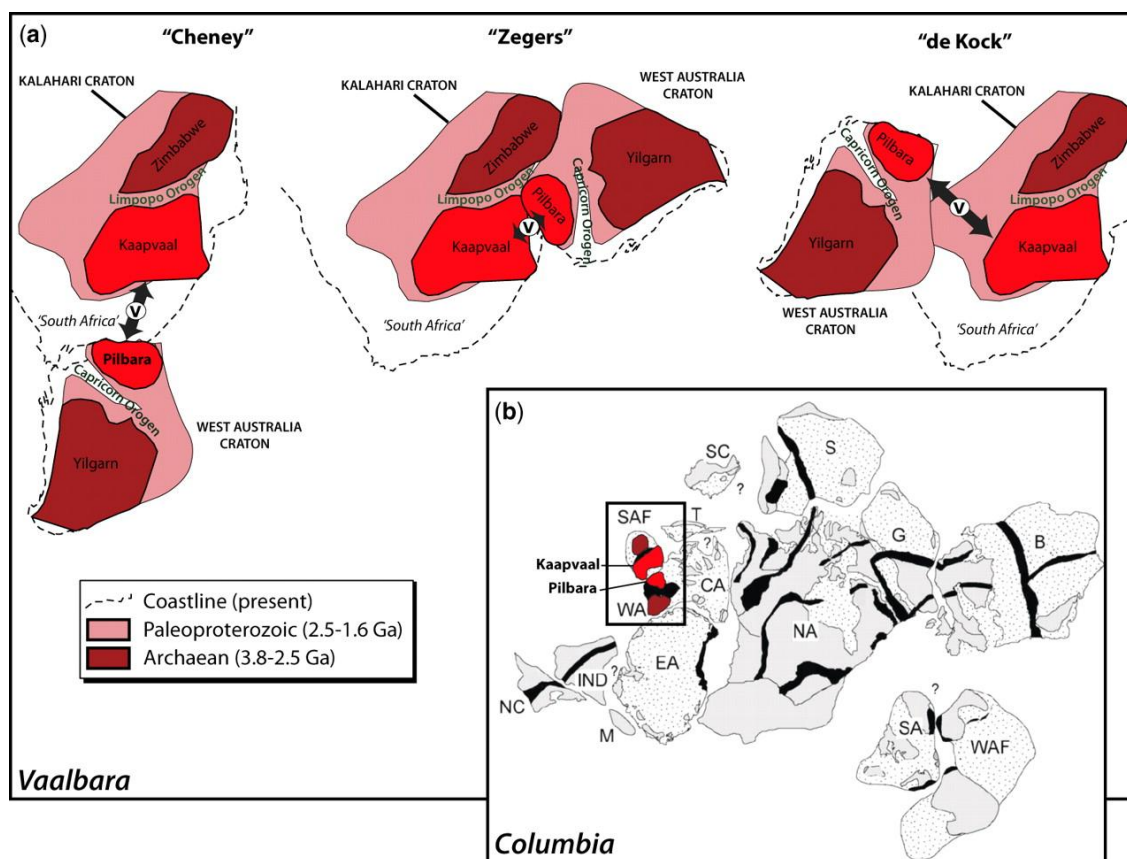


Figure 6. Paleomagnetic reconstructions of the Kaapvaal and Pilbara cratons relative to the present-day Kaapvaal Craton position. Paleogeographic configurations proposed include that from left to right of Zegers et al. (1998), Cheney (1996) and de Kock et al. (2009). The de Kock-fit is the only reconstruction that could fit the two-pole comparison before the work of Denysyn et al. (2013) and Evans et al. (2017) invalidated it..

(forrás: Validating the existence of the supercraton Vaalbara in the Mesoarchaean to Palaeoproterozoic Gumsley, Ashley, 2017., https://portal.research.lu.se/portal/files/30046542/Gumsley_2017_.pdf)



(forrás: New Palaeoproterozoic palaeomagnetic data from the Kaapvaal Craton, South Africa, Shawn Letts, Trond H. Torsvik, Susan J. Webb and Lewis D. Ashwal, Geological Society, London, Special Publications, 357, 9-26, 1 January 2011, <https://doi.org/10.1144/SP357.2>, <https://sp.lyellcollection.org/content/357/1/9/tab-figures-data>)

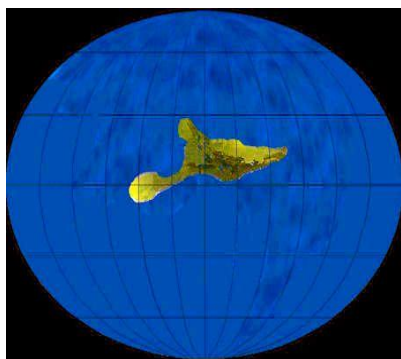


(forrás: www.delahyde.com/NZ/index.html, és www.wired.com/2013/12/continuing-eruption-at-nishinoshima-joins-two-islands/)



(forrás: https://ichef.bbci.co.uk/news/976/cpsprodpb/17E5F/production/_110078879_v2gettyimages-1192817418.jpg)

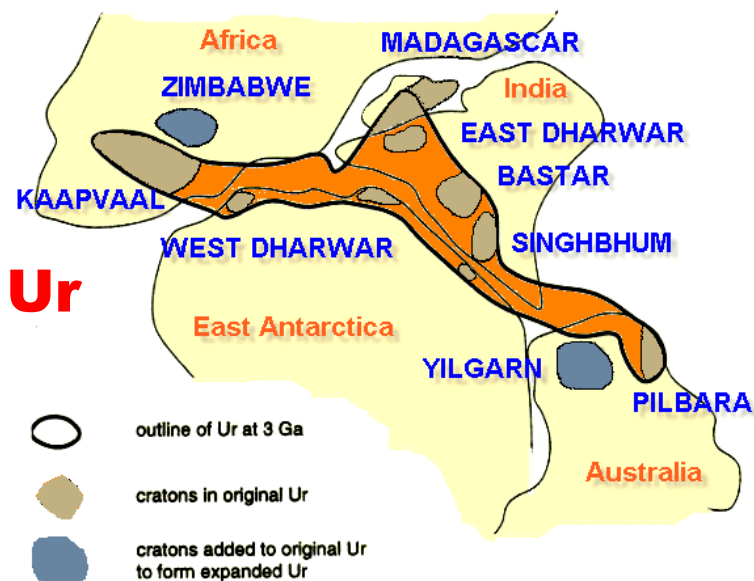
Illusztráció, egy ~3 milliárd évvel korábbi helyszín lehetséges képe



Ur ~3,0 milliárd évvel ezelőtt.
Ma darabokban része Ausztráliának, Indiának, Afrikának és Madagaszkárnak.

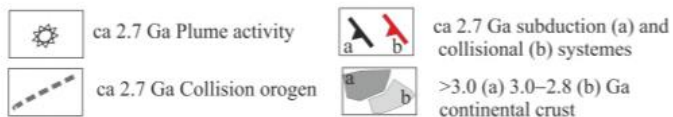
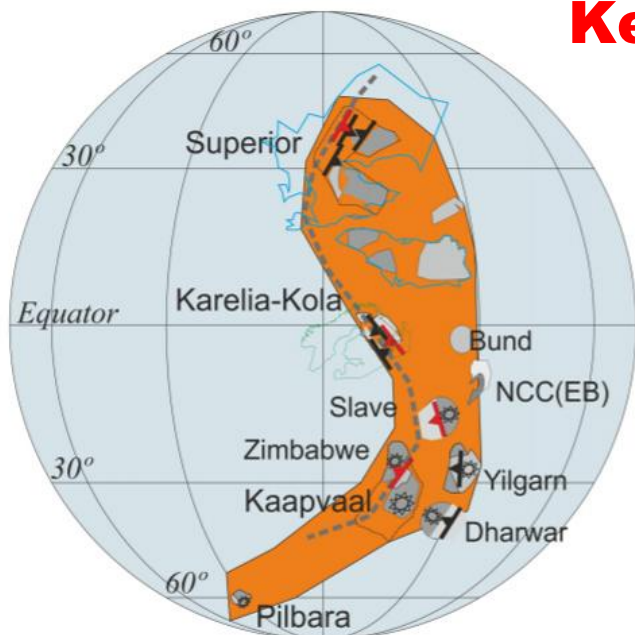
Az Ős kontinenst kiskontinensek alkották.

A Föld legidősebb ősi magterülete a „Yilgarn Craton” ~2,94 és 2,63 milliárd évvel ezelőtt alakult.



Kenorland ~2,7 milliárd éve formálódott, és 2,4-2,1 milliárd éve töredezett. Az Ős szuperkontinens egy nagy földtömeg volt.

Kenorland

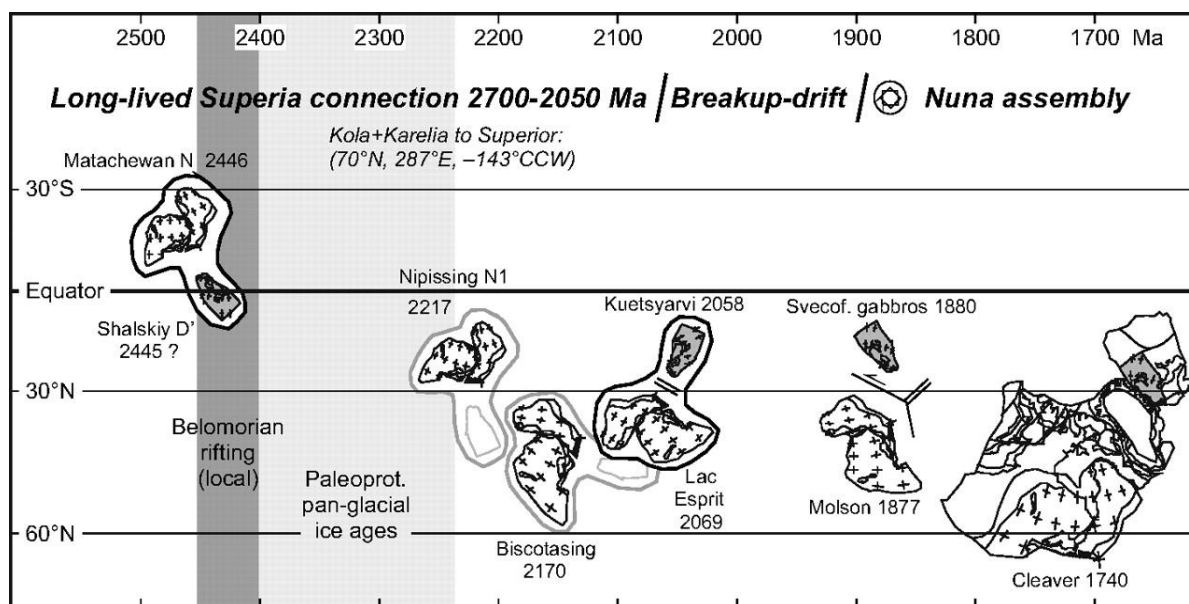


Configuration of Kenorland supercontinent at ca 2.7 Ga (Bund – Bundelkhand craton, NCC(EB) – Eastern block of the North China craton.

(forrás: A. I. Slabunov, Jinghui Guo, V. V. Balagansky, N. V. Lubnina, Lifei Zhang: Early precambrian crustal evolution of the belomorian and trans-north china orogens and supercontinents reconstruction.

Magmás események következtében 2,6 milliárd évvel ezelőtt keletkezett rövid életű palást, melynek ősföldrajzát mutatják az ábrák. Az események nyomait a földrészek megőriztek.

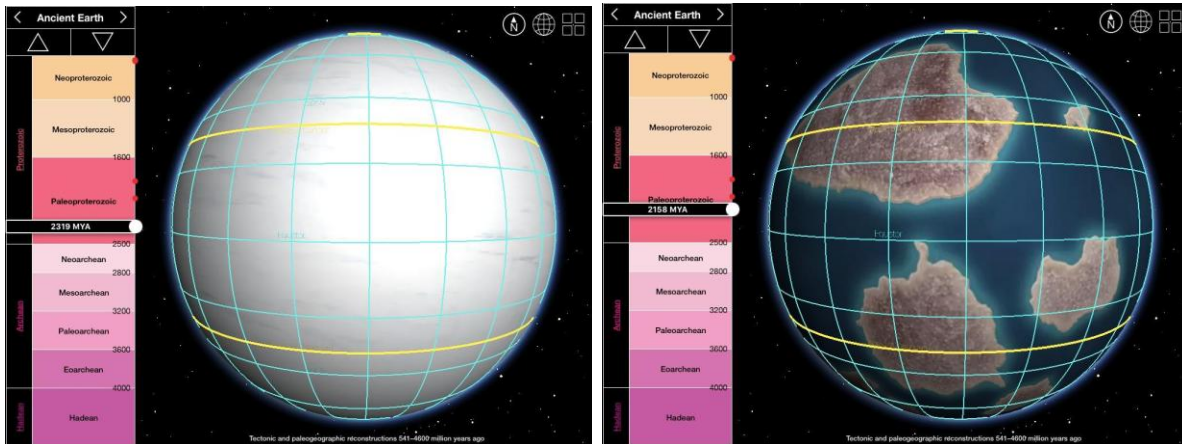
A Superior, Hearne és Karélia craton-ból (pajzsterület) alakult ki. Egy archaikus pajzs mag, egy nagy késő „Archean Paleoproterozoic” földtömeg, a superpajzs, a Superia 2,7-2,1 milliárd évvel ezelőtt. Ezt követően formálódott a Nuna kontinens~2-1,8 milliárd éve.



(forrás: I.N. Bindeman, A.K. Schmitt, D.A.D. Evans: Limits of hydrosphere-lithosphere interaction: Origin of the lowest-known $\delta^{18}\text{O}$ silicate rock on Earth in the Paleoproterozoic Karelian rift, 2010 február 11., Geological Society of America, <http://geology.gsapubs.org/>)



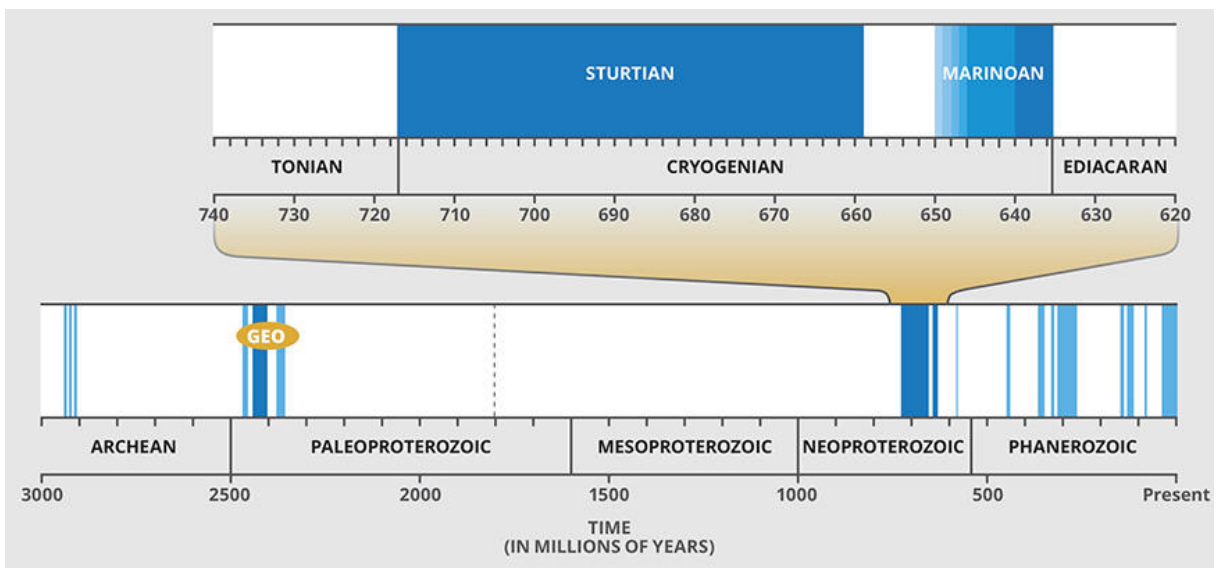
(illusztráció forrása: www.ohiwaholidays.co.nz/white-island-tours)



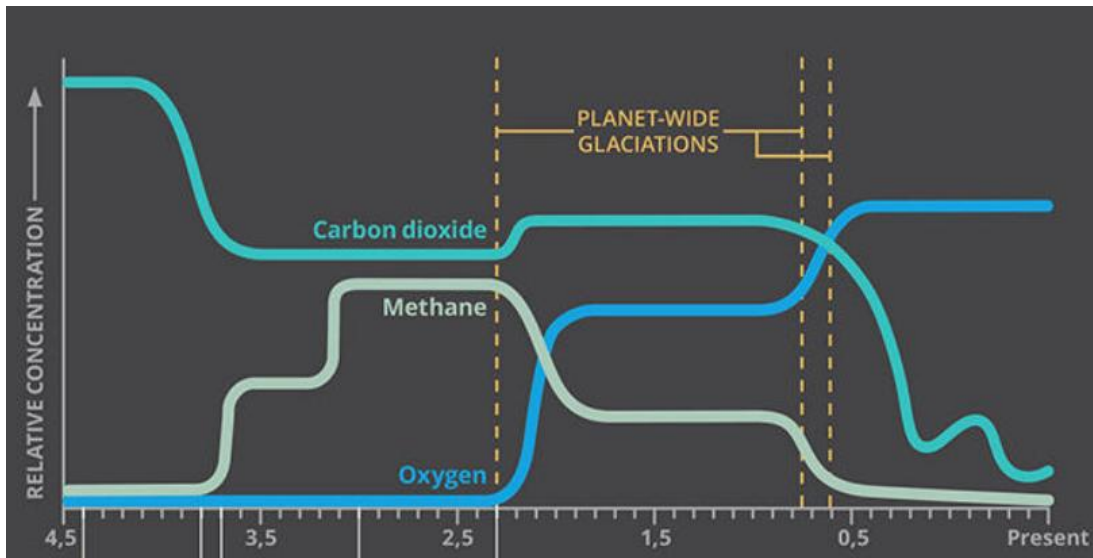
(forrás: www.biointeractive.org/classroom-resources/earthviewer és www.biointeractive.org/professional-learning/educator-voices/earthviewer)



(forrás: caesarom.com/?modul=galeria&a=23428&p=6)



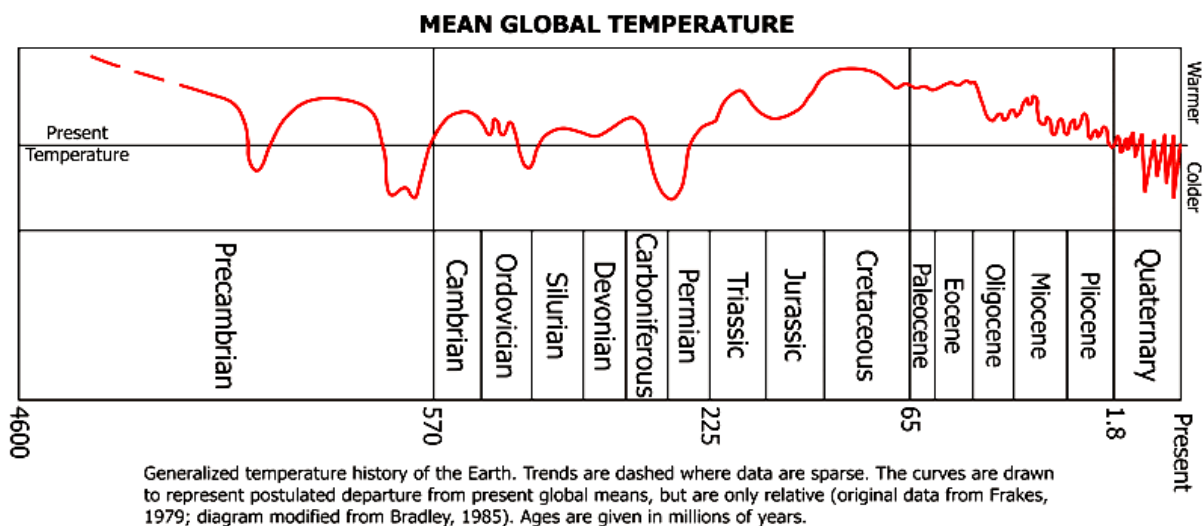
(forrás: news.cnr.fr/articles/when-earth-was-a-snowball)



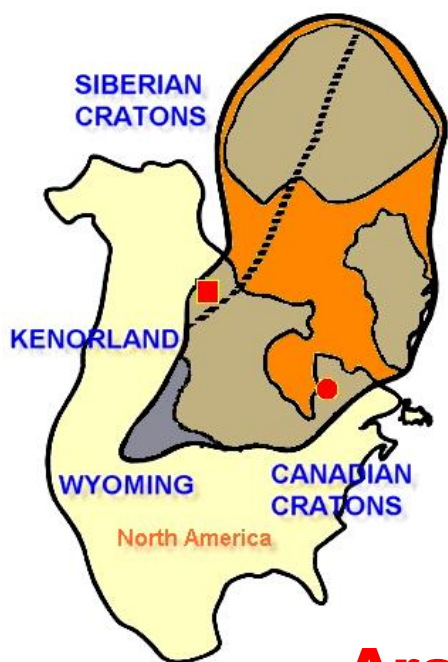
(forrás: news.cnrs.fr/articles/when-earth-was-a-snowball)

A globális lehűlések kialakulásának okai viták alapját képezik, csakúgy mint a glaciális-interglaciális időszakok váltakozása. A legelfogadottabb elmélet szerint a bolygó általános éghajlata több tényező kombinációjától függ:

- a légkör összetétele (a szén-dioxid és metán mennyisége, vulkánihamu-tartalmának változása, égitest becsapódását követő por és vízgőz)
- a kontinensek elhelyezkedése
- a földpálya excentricitásának, tengelyferdeségének és precessziójának változása a Földre érő napsugárzást időszakosan változtatja, (Milanković-elmélet)
- Nap sugárzás ciklusainak és a naptevékenység változásai



(forrás: www.onlineopinion.com.au/view.asp?article=17719)

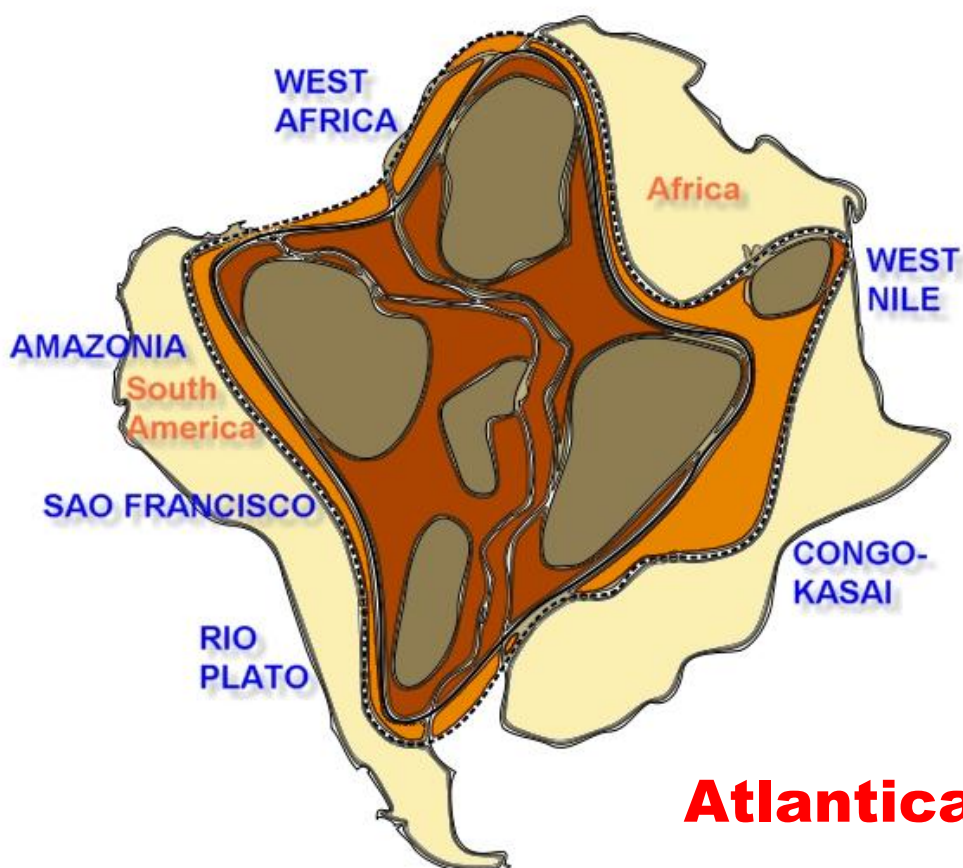


Arctica ~2,5 milliárd éve
(ma darabokban része
Kanadának és Szibériának)

- Nuvvuagittug gneiss 4,28 milliárd éves,
- Acasta gneiss 4,03 milliárd éves kőzet

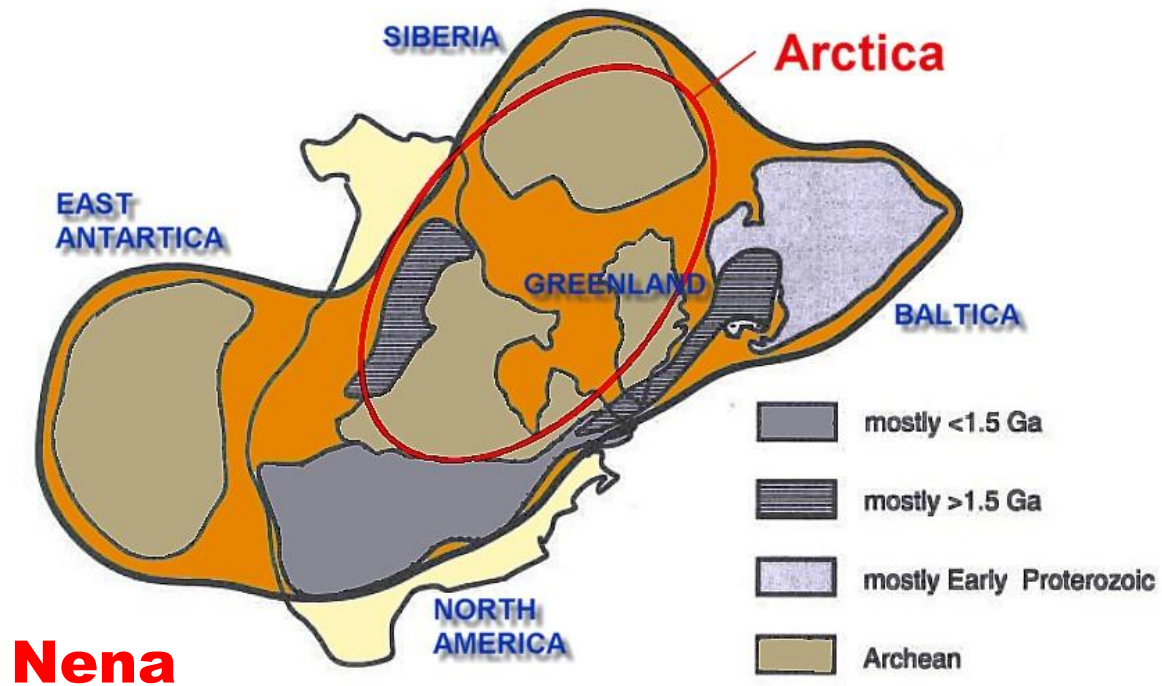
(forrás: Heaman, L.M., 1997, Global mafic magmatism at ca. 2.45 Ga: Remnants of an ancient large igneous province?: *Geology*, v. 25, no. 4, p. 299-302.)

Arctica

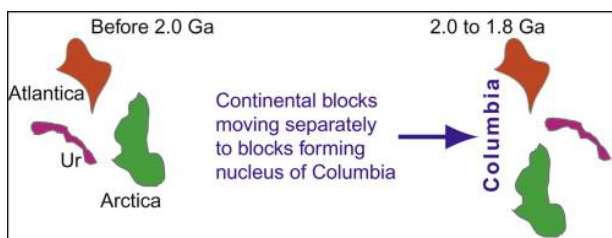


Atlantica

Atlantica ~2,0 milliárd éve (ma maradványokban része Afrikának és Dél-Amerikának)

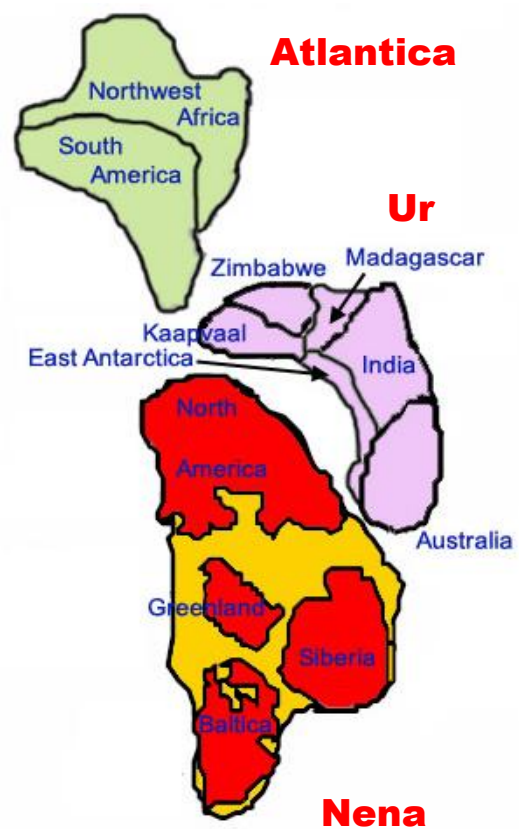


Nena ~2 milliárd évvel ezelőtti Ős kontinensekből - Arctica Baltica és Atlantica - formálódott ~1,8 milliárd éve (ma maradványokban része Kanadának, Észak-Európának, Szibériának és Antarktisznak)

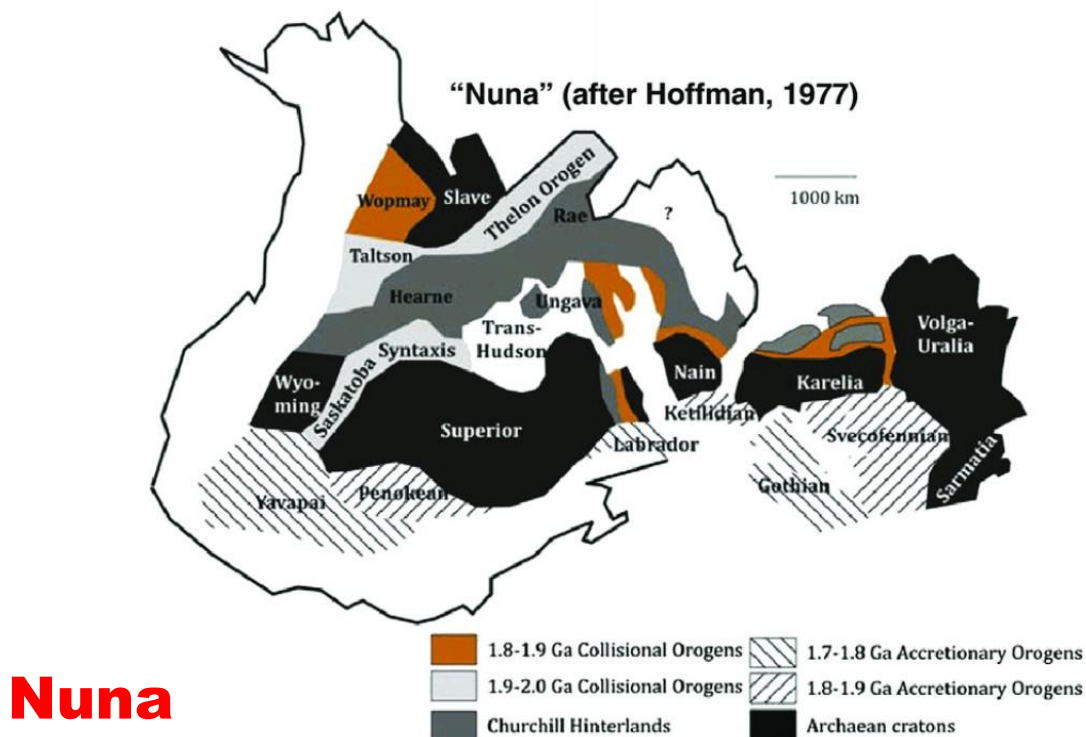


Columbia ~1,8 milliárd éve formálódott, és 1,5 milliárd éve töredezett

(forrás: A. V. Sankaran: The Superkontinent medley: Recent views, Research News, Current Science, 2003. október 25., Vol. 85. No. 8., és William Kelly: Evolution of the continents, New York State Geological Survey, New York State Museum, Teachers Workshop On Evolution, 2009 február 06. nyomán)



Columbia

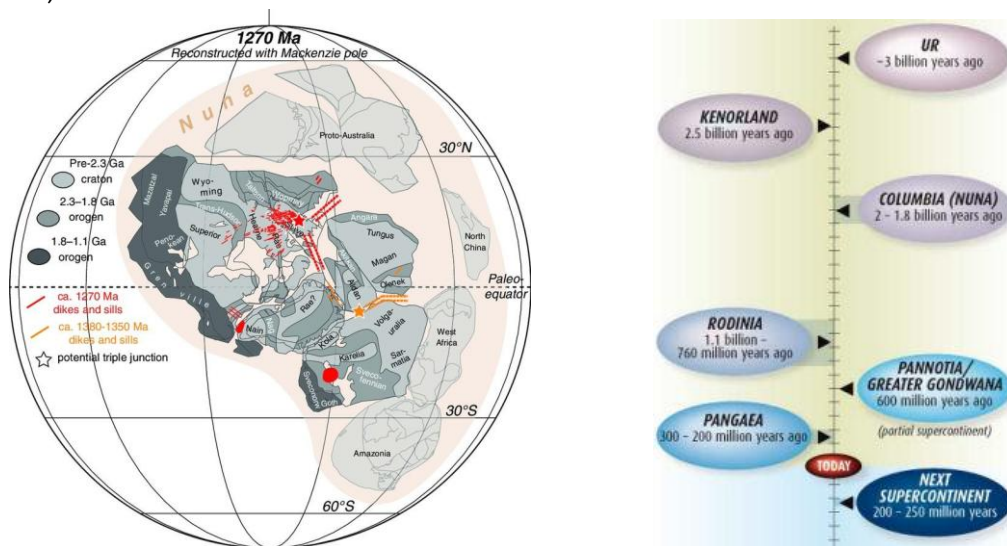


Nuna

Configuration of Nuna (Hoffman, 1997) and its precursor Nena (Rogers, 1997). Modified from Meert (2012).

https://www.researchgate.net/figure/Configuration-of-Nuna-Hoffman-1997-and-its-precursor-Nena-Rogers-1997-Modified-from_fig3_259366715

Nuna ~2-1,8 milliárd éve formálódott (Hoffman, 1997) Módosítva: Meert (2012).



(https://www.researchgate.net/figure/Tectonic-assembly-map-of-Nuna-Columbia-reconstructed-to-time-of-initial_fig6_259366715)
<http://christyj19portfolio.blogspot.com/2014/11/colliding-continents.html>

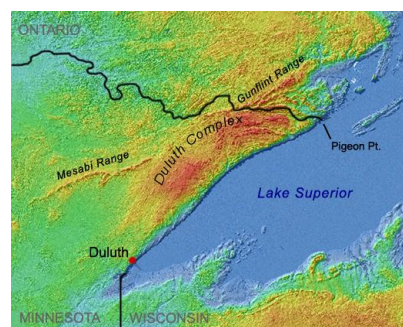
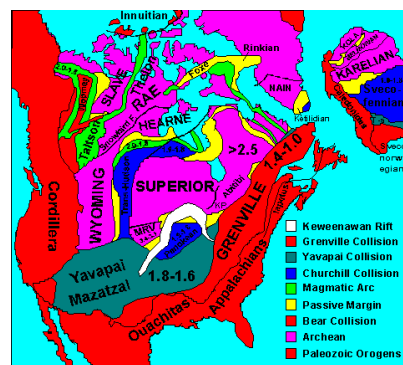
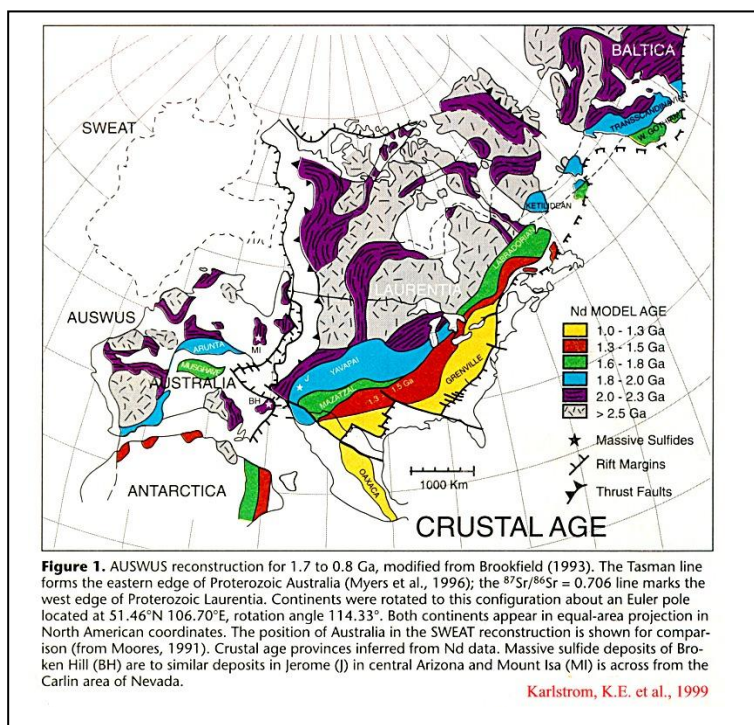
Nuna (Columbia) tektonikus összeállítási térképe, a kezdeti közép-mezoproterozoikus széttörés idejére rekonstruálva. Evans és Mitchell (2011).

Proterozoikum (2 500 – 541 millió évvel ezelőtt)

A Gunflint tartományban észak Minnesota és északnyugat Ontario Superior mentén a tó északi partján található az 1,88 milliárd éves sziklák a Gunflint kovakő, melyet sávos vas formáció sorozat alkotja.



(forrás: tudomany/2010/12/02/uj_tipusu_letformat_talalt_a_nasa/) Illusztráció, egy ~2 milliárd évvel korábbi földi látkép.



(forrás: Geology of the North American Craton during the Phanerozoic <http://instruct.uwo.ca/earth-sci/300b-001/rodkar1.jpg>)

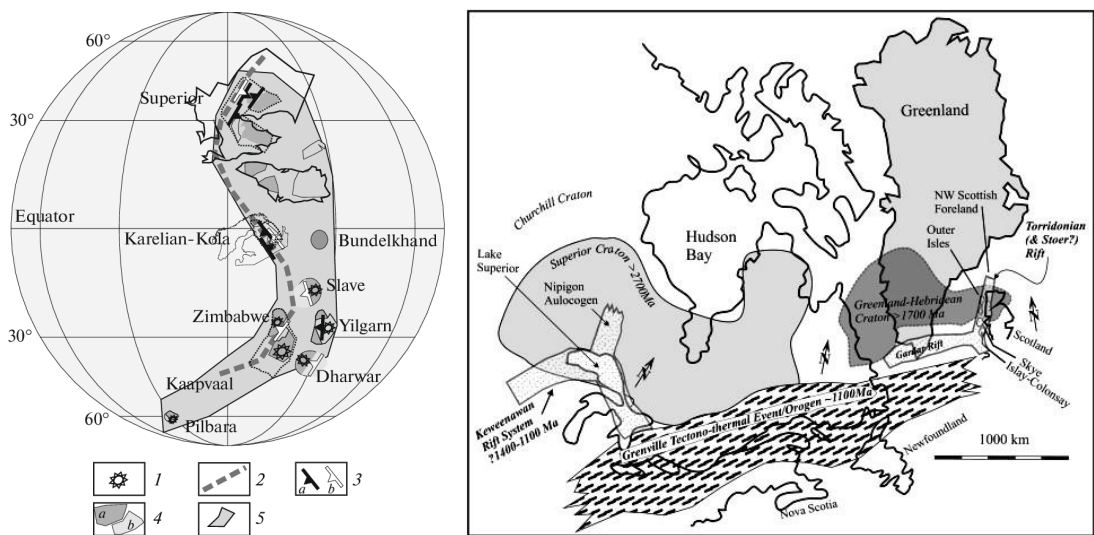
A 2 milliárd éves kanadai Gunflint vasas lerakódásban a kékeszöld algákhoz és a baktériumokhoz hasonló mikrofossziliák 16 faját írták le.



Figure 27. Vues au microscope optique de microfossiles de la formation Gunflint. [A] Une cellule ovoïde d'*Huroviospora*. Outre la paroi, une partie du contenu intracellulaire a été organiquement préservée (échelle : 20 microns). [B] Une cellule parfaitement sphérique d'*Huroviospora*, plus rare que la forme ovoïde. Notez l'opercule (flèche noire) en bas à gauche (échelle : 10 microns). [C] Deux cellules d'*Huroviospora*. Celle située à gauche présente une double paroi (flèche noire) parfaitement visible (échelle : 10 microns). [D] Un filament de *Gryffintia minuta*, qui avec *Huroviospora*, domine l'assemblage fossilifère des cherts de Gunflint. Le filament mesure 1,5 microns de diamètre. Il présente, dans sa partie supérieure, deux élargissements de 8 microns de diamètre (échelle : 10 microns). [E] Si la grande majorité des filaments de *Gryffintia minuta* sont organiquement préservés, des spécimens entièrement remplacés par de la pyrite ont été découverts dans nos échantillons (échelle : 10 microns). [F] Cette structure organique, qui comporte apparemment des structures filamenteuses très similaires à *Gryffintia minuta*, pourrait être un fragment de mats bactériens. (échelle : 10 microns). [G] Trois petites cellules étoilées d'*Eoastria*. De nombreux auteurs ont noté la ressemblance avec *Metallogenium*, une bactérie en forme de rosette capable d'oxyder le fer et le manganèse (échelle : 10 microns). [H] L'ombrelle organique de *Kokobekia umbellata*, l'un des microfossiles les plus étranges de la formation Gunflint (échelle : 20 microns). [I]. Spécimen incomplet d'*Eosphæra tyleri*, une structure qui par sa taille et sa complexité, pourrait être d'origine eucaryote (échelle : 10 microns).

(forrás: Michel Faure, Jean-François Bardeau, Jean-Noël Rouzaud, Emmanuelle Javaux, Elisabeth Verges, Frances Westall: These Presented a l'Universite d'Orleans Pour obtenir le grade de Docteur de l'Universite d'Orleans, Discipline: Paleontologie Par Philippe Labrot, Microscopie a force atomique de microfossiles precambriens, 2006. november 30.)

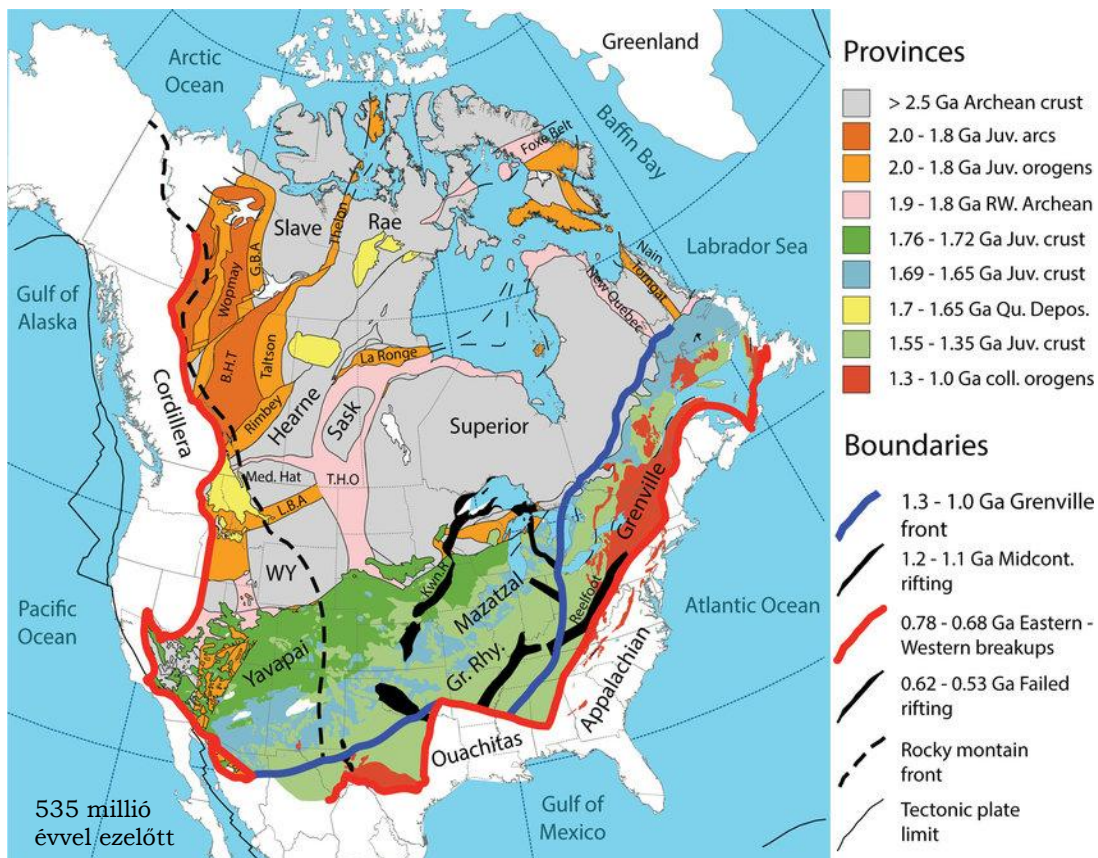
Gunflint fossziliák mikroszkopos képe



(forrás: www.researchgate.net/figure/Configuration-of-Kenorland-supercontinent-at-ca-27-Ga-Bund-Bundelkhand-craton_fig2_320423424 és www.researchgate.net/figure/A-reconstruction-of-the-Kenorland-supercontinent-in-the-Neoproterozoic-ca-27-Ga-ago_fig4_323699055 és Late Proterozoic reconstructions of North-West Scotland and Central Canada: Magnetic fabrics, paleomagnetism and tectonics, *Journal of Structural Geology*, Volume 30, Issue 12, December 2008, Pages 1466-1488, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0191814108001302)



(forrás: https://es.wikibooks.org/wiki/Archivo:Paleoglobe_NO_1590_my-a-vector-colors.svg)



(forrás: Pierre Clouzet, Y. J. Masson, Barbara Romanowicz:

Box Tomography: First application to the imaging of upper-mantle shear velocity and radial anisotropy structure beneath the North American continent, June 2018 Geophysical Journal International 213(3), DOI:10.1093/gji/ggy078, www.researchgate.net/figure/Large-scale-Precambrian-architecture-of-North-America-modified-from-Whitmeyer_fig14_327105740 és hu.wikipedia.org/wiki/Kanadai-ösföld)



A Kanadai-ösföld (avagy: Laurentiai-ösföld) az észak-amerikai kontinens geológiai magja. A Kanadai-ösföld struktúrája archaikus és proterozoikus kristályos kőzetekből épül fel. A felszínre bukkanó kőzetek alapján több archaikus magra (kratonra, azaz ösföldre) osztható fel, melyeket zöldkő-öv választ el egymástól. Ezek közül a legnagyobbak és legjobb állapotban megmaradtak az Észak-amerikai-kraton keleten, a Superior-kraton a Hudson-öböl körül és a Slave-kraton északnyugaton. Az Egyesült Államok területéhez tartozó Wyoming-kratont nyugaton nem mindig sorolják a Kanadai-ösföld krationjai (ösföldjei) közé. A Kanadai-ösföldből kerültek elő az eddig megtalált legidősebb földi kőzetek. A Slave-kraton nyugati részében az Acasta-gneisz 4,030 milliárd éves, a Superior-kraton középső részének keleti részén a Nuvvuagittuq-zöldkő-öv akár 4300 milliárd éves kort is eléri. Mindkét kőzetcsoport a hadaikum idejéből származik.



(forrás: phys.org/news/2013-04-feast-clue-ancient-earth.html)

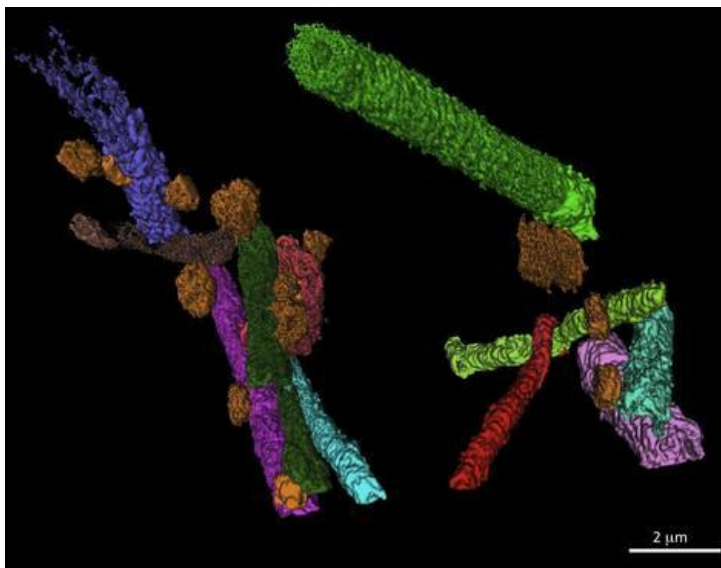
Lake Superior (Felső-tó)

Gunflint szikla,

A sorozat fekete rétege a tartalmaz microfossziliákat, amelyek kora 1,9-2,3 milliárd év.

A sávos vasérc kialakulása során, váltakozva vas-oxid dús rétegek között szilícium-dioxidban gazdag zónák vannak. A vas-oxid általában hematit, vagy magnetit, ilmenittel és a szilikátok túlnyomórésze kriptokristályos kvarc, mint kovakő vagy jáspis, valamint néhány kisebb szilikát ásvány.

Az amerikai tudományos akadémia folyóiratában, a Proceedings of the National Academy of Sciences című kiadványban megjelent beszámoló szerint a tudósok úgy vélik, hogy évmilliárdokkal ezelőtt záptojásszagú volt a Föld. A kanadai Felső-tó partján 1,9 milliárd éves kőzetben felfedezett mikrofossziliák arról, arról tanúskodnak, hogy heterotróf baktériumok egymásból táplálkoznak. Heterotrófnak azokat az organizmusokat nevezik, amelyek szerves anyagokat használnak a túléléséhez szükséges kémiai energia biztosításához. Ezzel szemben az autotrófok képesek szervesetlen anyagokból bonyolult szerves vegyületek felépítésére, amit vagy kemoszintézissel, vagy a napenergia felhasználásával, azaz fotoszintézissel érnek el.



A 3-15 mikron átmérőjű, a cianobaktériumok törzséhez tartozó organizmusok (Gunflintia) külső, átlyuggatott burkán világosan kivehetők azok a nyomok, amelyek arról árulkodnak, hogy más baktériumok táplálékául szolgáltak.

(forrás: Early feast clue to smell of ancient Earth, University of Oxford, OxWeb,

phys.org/news/2013-04-feast-clue-ancient-earth.html)

Valójában a mai baktériumok is hasonló módon bontják le a szerves anyagokat akár a bélrendszerben, akár a szennyvízcsatornában. Szinte ugyanez a biológiai folyamat ment végbe az ősi bolygón - írták a kutatók, David Wacey a University of Western Australia és Bergen University Norway, valamint Martin Brasier, az Oxfordi Egyetem professzora.

A tudós utalt arra, hogy a folyamat közben kénhidrogén (hidrogén-szulfid) keletkezik, amely színtelen, bűdös, mérgező gáz.

Egyéb bizonyítékot is találtak a mikrobafossziliák burkán arra, hogy az ősi organizmusok egymást ették: vasszulfidot, amely bizonyos heterotróf baktériumok mellékterméke.

Korábbi kutatásokból már kiderült - említi David Wacey, hogy ezek a szulfidot termelő mikrobák mintegy 3,5 milliárd évesek. A mostani leletek viszont azt jelzik, hogy a heterotróf életforma még 1,9 milliárd évvel ezelőtt is virágzott. A kutatók elképzelhetőnek tartják, hogy az ősi mikrobák bíborszínűek voltak, következésképpen a bolygó is bíborárnyalatot ölthetett évmilliárdokkal ezelőtt.



(forrás: static.origos.hu/s/img/i/1503/2015031160.JPG)



(forrás: www.wallpaperflare.com/lava-flood-near-sea-illustration-nature-rocks-volcano-smoke-wallpaper-pbirx)

Illusztrációk, ~2 milliárd évvel korábbi helyszínek lehetséges képei.



(phys.org/news/2013-04-feast-clue-ancient-earth.html)

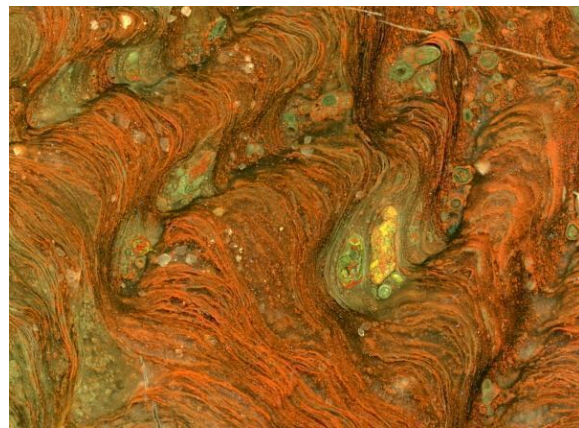
Gunflint szikla (forrás: David Wacey)
Lake Superior



Stromatolites (forrás: Mark Jirsa)
Lake Superior

Stanley A. Tyler megvizsgálta a területet 1953-ban, és megállapította, hogy a vörös színű sziklák sztromatoliteszek.

Mintát vett a koromfekete kovakő rétegből is, amelyeket megvizsgált petrográfiaiilag (közettanilag), és kiderült, hogy 10 mikrométernél kisebb életszerű kis gömbök, rudak és szálak találhatók benne.



Stromatolites, (forrás: James Kocher)
Whitefish River, Lybster Township, Ontario,

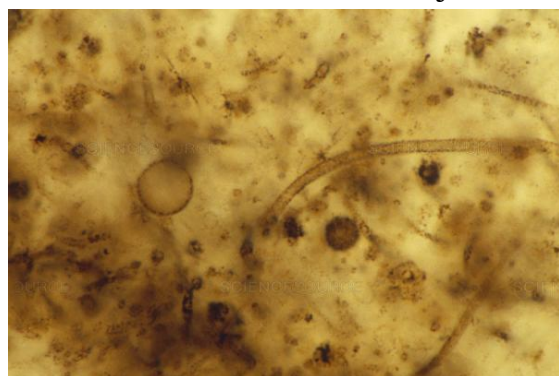
Első S. Barghoora paleobotanikus a Harvardon, megvizsgálta ugyanezen mintákat és arra a következtetésre jutott, hogy „azok valóban strukturálisan jó megtartású egysejtűek”

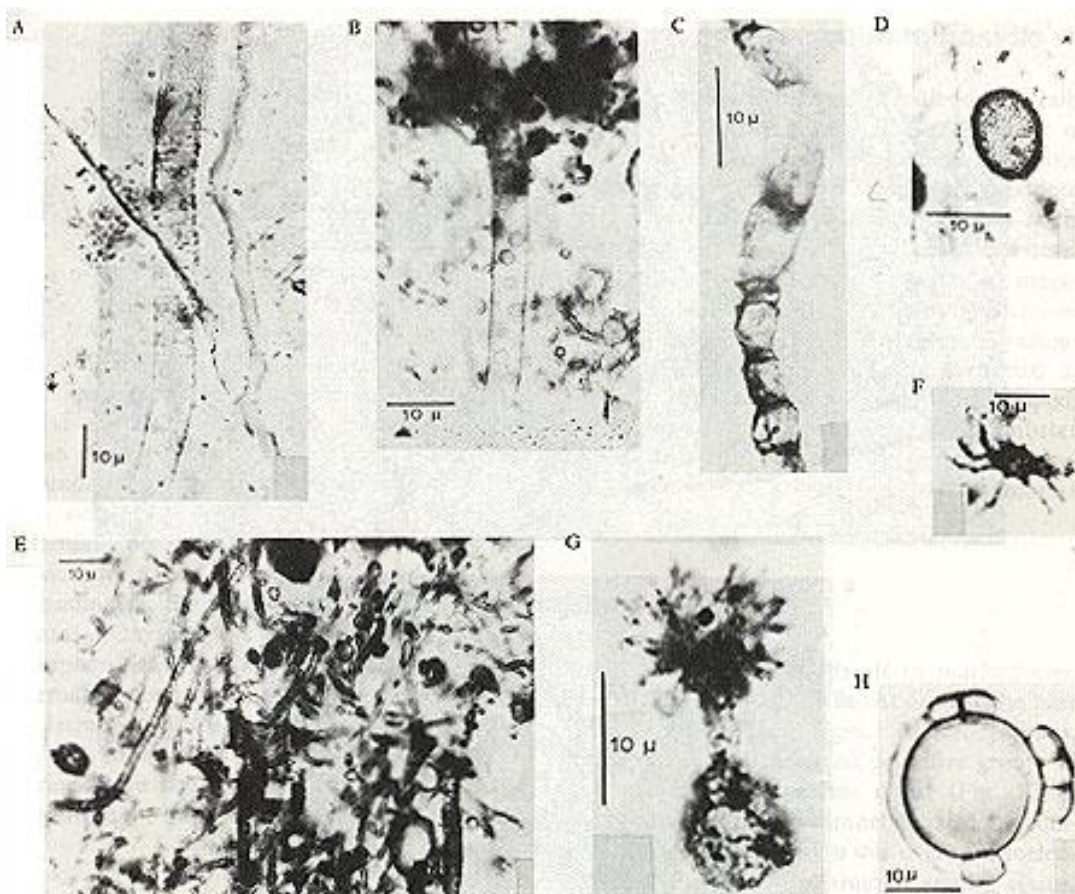
1965-ben, a két tudós közzétették a megállapításukat „Microorganisms from the Gunflint Chert” címmel a Science folyóiratban, ahol „Gunflint flora” megnevezés használták felfedezésükre, heves vitát kiváltva tudományos körökben.

Egy 1,9 milliárd éves sztromatolit kovakő, Gunflint Formáció (Kanada), a mikroszkópos képet vizsgálva több példát látunk gömb alakú (Huroniospora) és a fonalas (Siphonophycus és lehetséges még Gunflintia) microfossziliákat.

(Wacey et al., 2012. Precambrian)

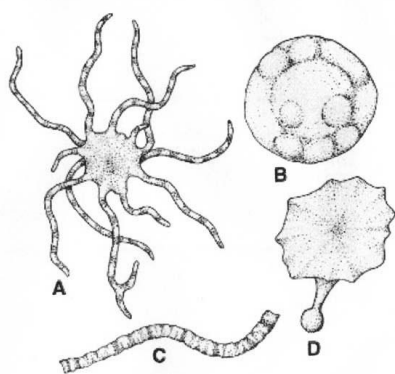
(A Gunflint chert fénymikroszkópos felvétele, Michael Abbey/Science Source, www.sciencesource.com/archive/Gunflint-Chert-Fossils-SS2450317.html)





(Elsó S. Barghoora, Stanley A. Tyler: Microorganisms from the Gunflint Chert, These structurally preserved Precambrian fossils from Ontario are most ancient organism known. Science 1965.02. 05., Volume 147, Number 3659.)

A-C. kék-zöld algák; Animikia, Entosphaeroides, és Gunflintia;
 D. Huroniospora, egy alga spóra; E. Gunflintia és Hurionospora;
 F. Eoastrion, baktérium, és enigmatic forma, G. Kakabekia;
 H. Eosphaera



Gunflint
 Nanofauna:
 A) Eoastrion;
 B) Eosphaera;
 C) Gunflintia;
 D) Kakabekia;

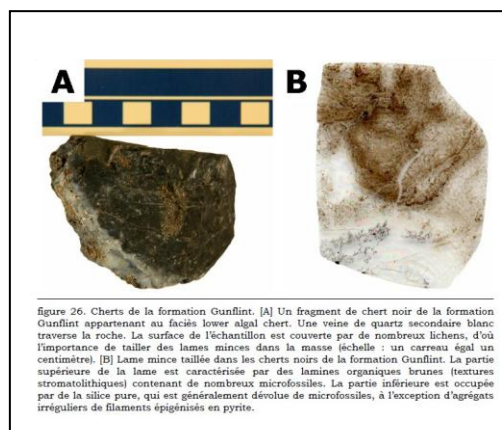
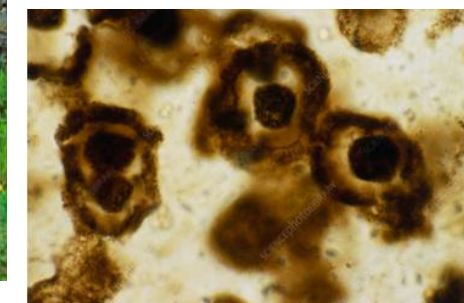
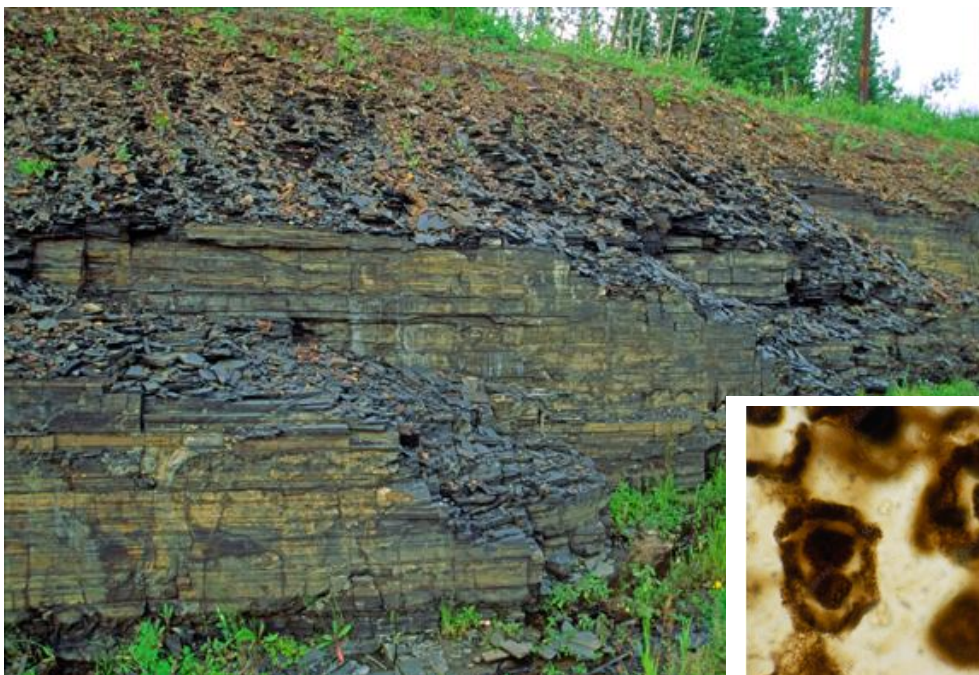


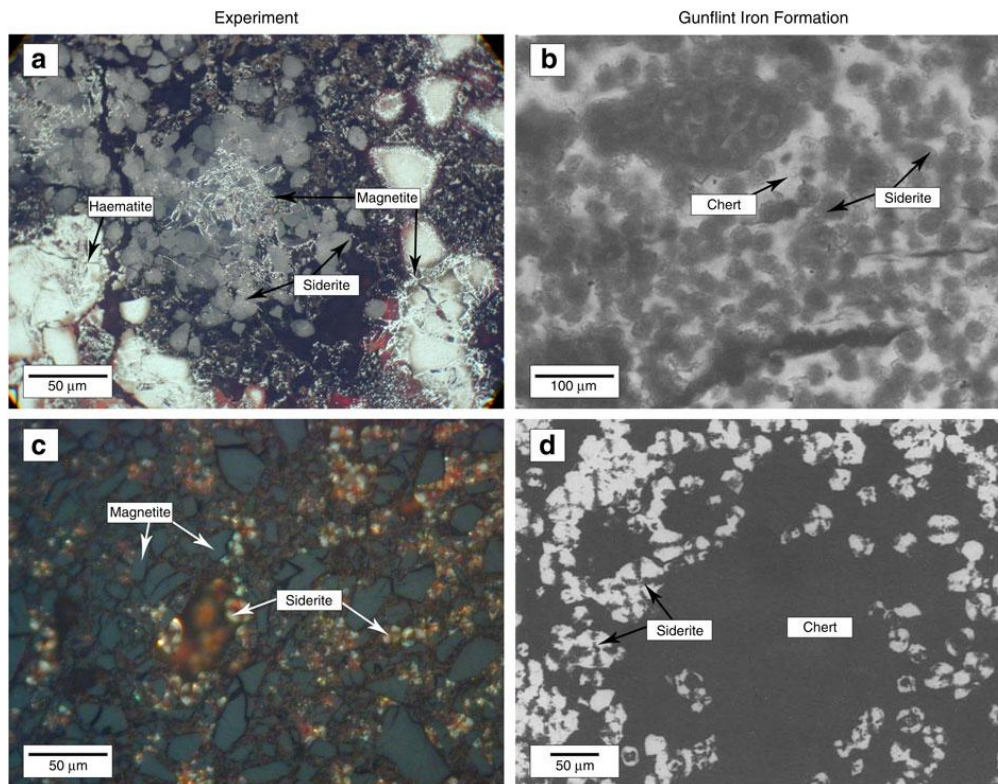
figure 26. Cherts de la formation Gunflint. [A] Un fragment de chert noir de la formation Gunflint appartenant au faciès lower algal chert. Une veine de quartz secondaire blanc traverse la roche. La surface de l'échantillon est couverte par de nombreux lichens, d'où l'importance de tailler des lames minces dans la masse (échelle : un centimètre). [B] Lame mince taillée dans les cherts noirs de la formation Gunflint. La partie supérieure de la lame est caractérisée par des lamines organiques brunes (textures stromatolithiques) contenant de nombreux microfossiles. La partie inférieure est occupée par de la silice pure, qui est généralement dévolue de microfossiles, à l'exception d'aggrégats irréguliers de filaments épiptérisés en pyrite.

(forrás: „En conclusion, les microfossiles de Gunflint sont tous, pour la majorité des scientifiques, procaryotiques.” Toutefois, Knoll et al. 1978)



(forrás: www.pbase.com/image/93998471, és sciencephoto.com/media/171298/view/light-micrograph-of-gunflint-chert)
 Gunflint Chert, 1,9 milliárd éves, kőzet.
 (Kakabeka Falls, Kaministiquia River, Oliver Paipoonge, Ontario, Canada)

A Nature folyóiratba 2013. áprilisban megjelent cikkben a kutatók a biológiai szén elővegyület közetté válását, a sziderit gömb struktúrák kialakulását vizsgálták a szalagos vaskő formációban.



(forrás: Inga Köhler, Kurt O Konhauser, Dominic Papineau, Andrey Bekker, Andreas Kappler: Biological carbon precursor to diagenetic siderite with spherical structures in iron formations, Nature 2013. április 23. Communications 4, Article number: 1741 doi:10.1038/ncomms2770)

A laza, képlékeny, jelentős víztartalmú üledék bonyolult fizikai, kémiai folyamatok során válik kőzetté. A legfontosabb változások a megszilárdulás és az átkristályosodás, valamint a víztartalom csökkenése. Az üledék elsősorban a rétegterhelésből származó nyomás hatására tömörödik, térfogata és víztartalma csökken (litifikáció). Ezzel egy időben az üledék pórusaiban található kötőanyag (elsősorban kalcium-karbonát az az mészkő, CaCO_3) hatására cementálódik. Az árkristályosodás során a már megszilárdult kőzetben a kisebb kristályok nagyobb kristályokká, kristályhalmazokká alakulnak.

Az összehasonlító vizsgálat mikroszkópos képein az a) és c) mikrográfokon látható, hogy sziderit (vaspát, vastartalmú szabályos rendszerű karbonátásvány) gömbök képződtek diagenetikus (kőzetképző) kísérletek során ferrihidrit (vasoxid, $5 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) és a glükóz (szőlőcukor, monoszacharid, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) keverékéből. Az a) kísérletben a ferrihidrit és glükóz keveréke 0,6 arányban volt 1,2 kbar nyomáson és 170°C -on 14 napig, a (c,) kísérletben a ferrihidrit és glükóz keveréke 2,4 arányban volt. Ezek hasonlóak a Gunflint Range közelében található, Kakabeka Falls (Ontario, Kanada) kovakő, sziderit gömb struktúrákra.



(forrás: <https://www.wallpaperflare.com/aurora-borealis-northern-lights-volcano-fire-lava-hd-national-geographic-photo-wallpaper-mzyna>)

Illusztrációk, ~2 milliárd évvel korábbi helyszínek lehetséges látképei.

A szakemberek zöme eddig úgy vélte, hogy az **eukarióta** („Eukaryota” eu = valódi, karyon = sejtmag, valódi sejtmaggal és sejtszervecskékkel rendelkező) élőlények nagyjából 600 millió évvel ezelőtt kezdték meghódítani a szárazföldet.

A Gabonban talált 2,1 milliárd éves kőületek nagy áttörést jelentenek, így az eukarióták megjelenése körülbelül 2 milliárd évvel ezelőttre datálható.



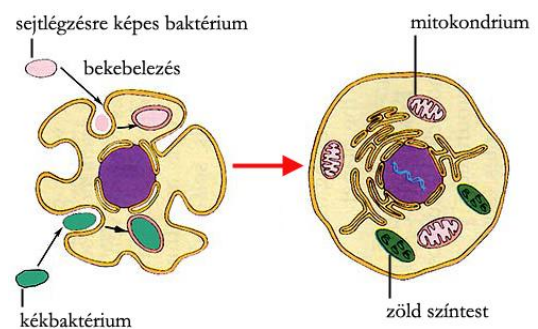
(Forrás: www.labarcgabon.com/gabon_paleo.html)

Ezek a valaha látott legősibb többsejtű eukarióták.

A fossziliákat a gaboni Franceville közelében elhelyezkedő ásatási területen fedezte fel Abderrazak El Albani a francia Nemzeti Kutatási és Technikai Hivatal (CNRS) és a hivatal szárnyai alatt működő Poitiers Egyetem csapatával 2008-ban. A kőületek tökéletes konzerválódásról tanúskodtak, és egy 2,1 milliárd éves üledékben helyezkedtek el. A kutatócsoport a mai napig több mint 250 fossziliát gyűjtött be a területről. Morfológiájuk nem magyarázható pusztán kémiai vagy fizikai mechanizmusokkal. Ezek a példányok, melyek különböző alakúak és méretük eléri a 10-12 centimétert, túl nagyok és túl bonyolultak ahhoz, hogy egysejtű prokarióták vagy eukarióták legyenek. A felfedezést a 2010. Nature július 1-i számában tették közzé.

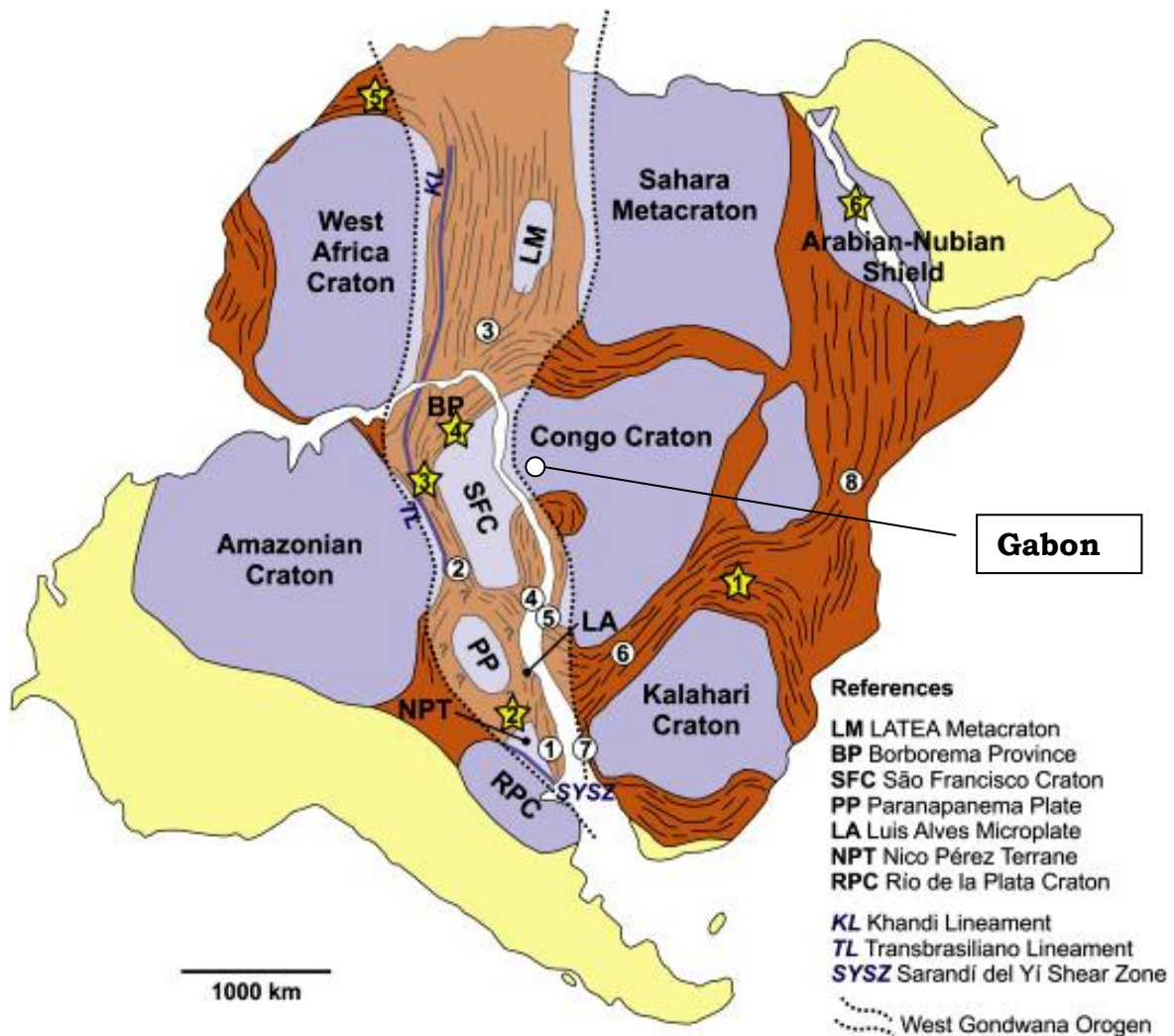
Az endoszimbiózis-elmélet szerint egyes élőlények más élőlények belsejébe épültek be, és azok részévé váltak.

Az endioszimbionták - tehát a más élőlények testébe került organizmusok - végül feladták saját, önálló életüket.



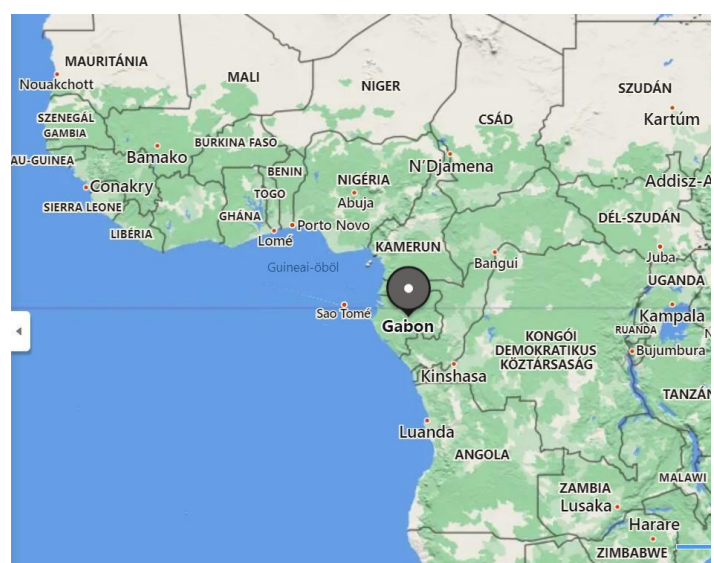
Az eukarióták kialakulásának modellje

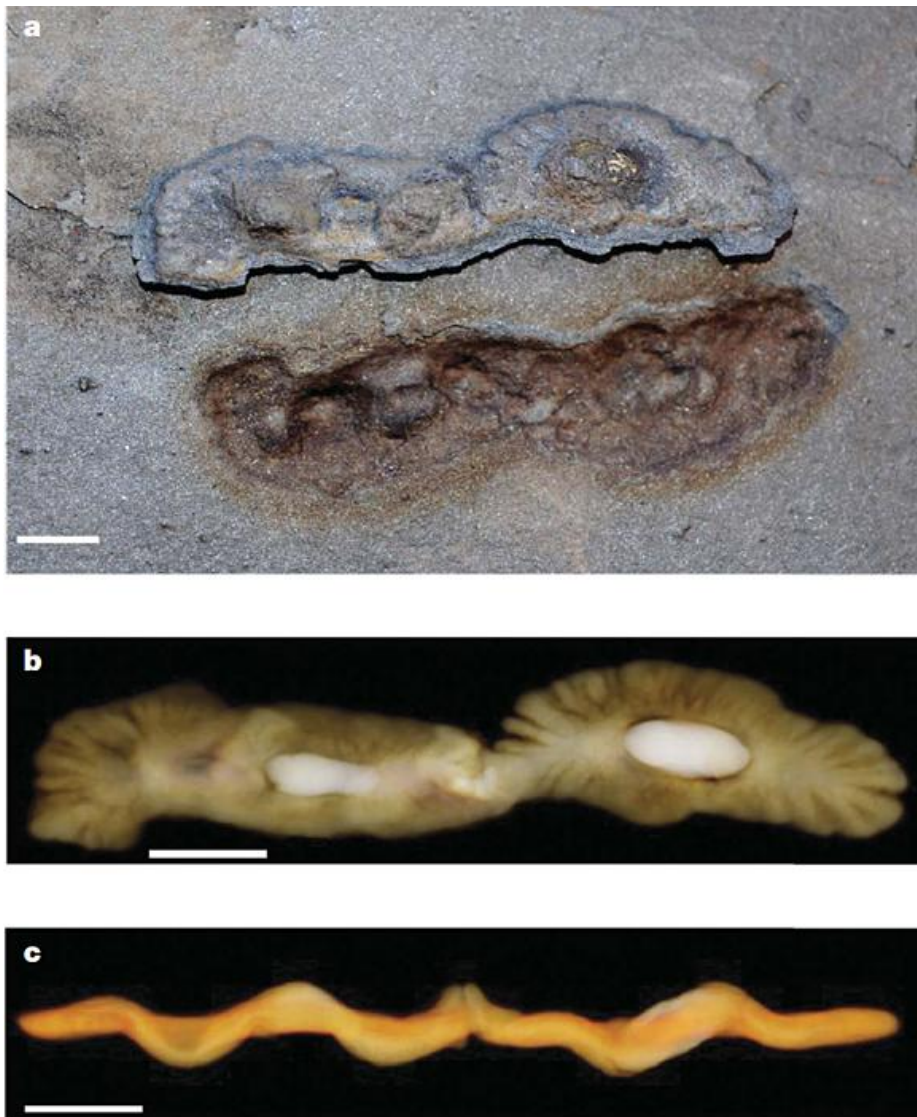
A fotoszintézis elterjedése jelentősen megnövelte a légköri oxigénszintet, ezzel pedig az élőlények által felhasználható energia mennyiségét, szélesítve a lehetséges változások körét. Az eukariótáknál vált lehetővé a fotoszintézis és az ivaros szaporodás.



Atlantica ~2,0 milliárd éve
(ma maradványokban része Afrikának és Dél-Amerikának)

(forrás: Oriolo S.,
Oyhantçabal P., Wemmer K.,
Siegesmund S. :
Contemporaneous assembly
of Western Gondwana and
final Rodinia break-up:
Implications for the
supercontinent cycle,
Geoscience Frontiers (2017)
8(6) 1431-1445, DOI:
10.1016/j.gsf.2017.01.009,
www.mendeley.com/catalogue/e/208982e4-58c0-3a3f-9cca-cd008f97326e/ és
www.bing.com/maps?q=Gabon&satid=id.sid%3A699f8937-631d-88ab-7da4-c4d4107ecdde)





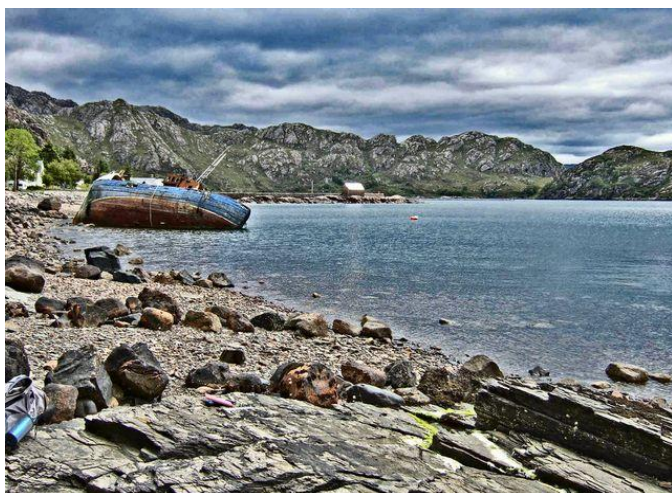
(forrás: www.naturalist.if.ua/?p=3551&cpage=1)

Soksejtű ősmaradványok a gaboni 2,1 milliárd éves fekete palában.

a) Az ősmaradvány alsó oldala (felül) és a lenyomata (alul). b) Mikrokomputertomográfus rekonstrukció, amely jól mutatja a külső, sugárirányú bevágásokat, és a két belső pirites kitöltést. c) Hosszirányú metszet, amely a példány központi része közelében fut. Jól látható a hullámos lefutású külső perem. (Méretarány: 1 cm)

A háromdimenziós, lepelszerű maradványok csipkézett szegéllyel rendelkeznek, és belül sugárirányú bevágásokat viselnek. A példányok alakját és szerkezetét a kutatók a koordinált növekedés bizonyítékaként értelmezik. A komplex felépítés, valamint a szterán nevű oldható szerves összetevő jelenléte alapján arra a következtetésre jutottak, hogy nem bakteriális eredetű kicsapódásról van szó, hanem a legkorábbi ismert soksejtű eukarióta maradványaira bukkantak. Ez nagyon jelentős felfedezés, hiszen a soksejtűség megjelenése az egyik legfontosabb lépcsőfok volt a földi élővilág evolúciója során.

Az Oxfordi és a Sheffieldi Egyetem, valamint a Boston College kutatóiból összeállt csoport Skócia távoli nyugati partja mentén fekvő tavak üledékét vizsgálta.

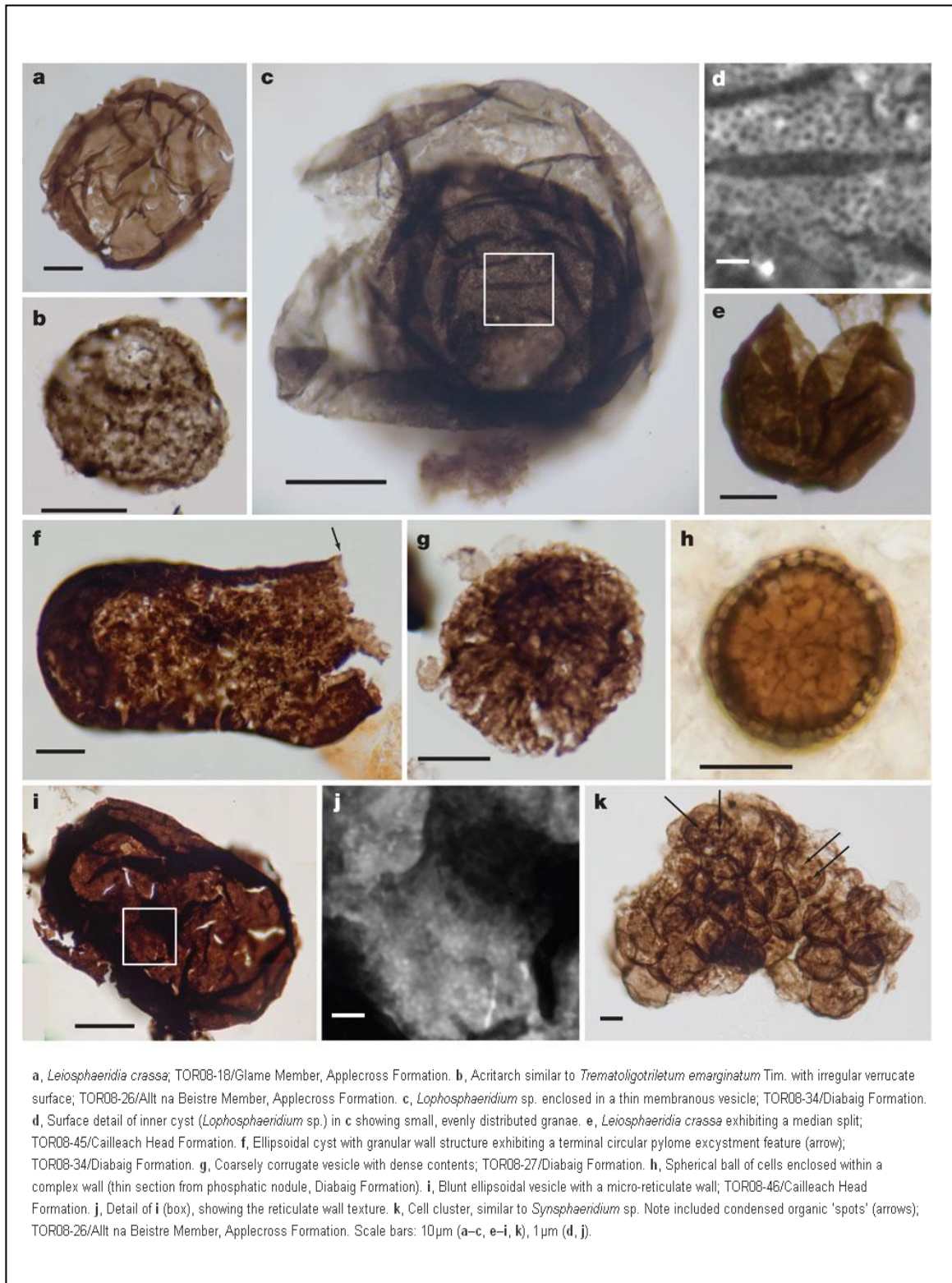


(forrás: Earth's earliest non-marine eukaryotes, Paul K. Strother, Leila Battison, Martin D. Brasier & Charles H. Wellman. Nature, 2011. április DOI 10.1038/nature09943)

A Loch Torridon környéki kőzetek tanulmányozása közben élőlény fossziliákra bukkantak, melyek az evolúció egy kulcsfontosságú eseményét helyezhetik új megvilágításba, amikor a szárazföldön is megjelentek a nagyobb, összetettebb (eukarióta) sejtek.

„Ezek az új fossziliák azt mutatják, hogy a szárazföldi tavakban élő, komplexebb algasejtek irányába történt elmozdulás több mint egymilliárd éve kezdődött, sokkal régebben, mint ahogy gondolták” - mondja a Nature-cikk (2011. április) egyik szerzője, Martin Brasier, az Oxfordi Egyetem földtani tanszékének professzora.

Feltehetőleg több tényező együttese eredményezte a kialakulásukat. Közreműködhetett ebben, hogy a lassú és hosszú fejlődés során úgynevezett endszimbiózissal egyre bonyolultabb sejtek jöttek létre.

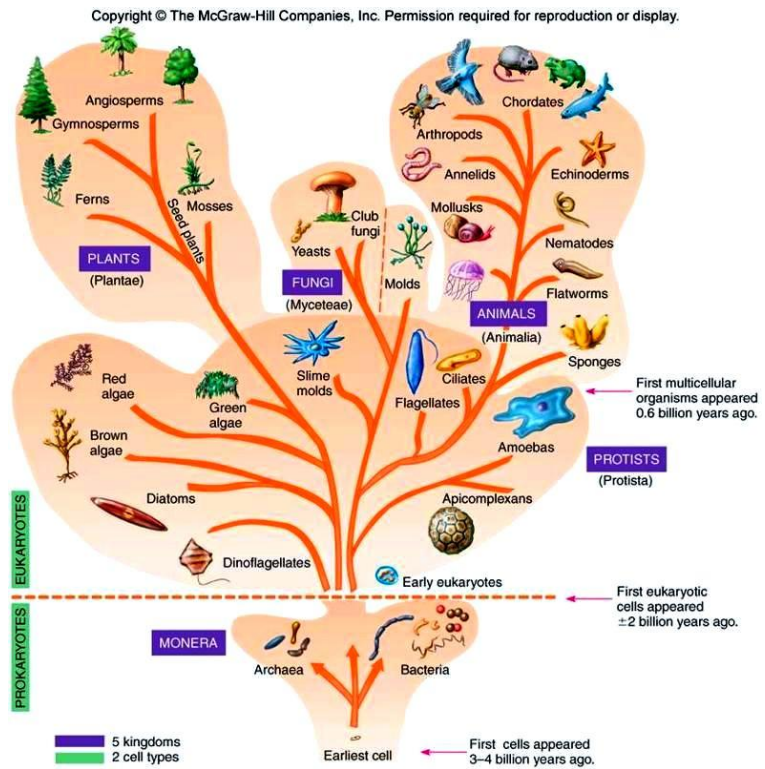


(forrás: Paul K. Strother, Leila Battison, Martin D. Brasier, Charles H. Wellman: Earth's earliest non-marine eukaryotes, *Nature* 473, 505–509, 26 May 2011., doi:10.1038/nature09943)

A Föld legkorábbi nem tengeri eukariótái (Loch Torridon Skócia).

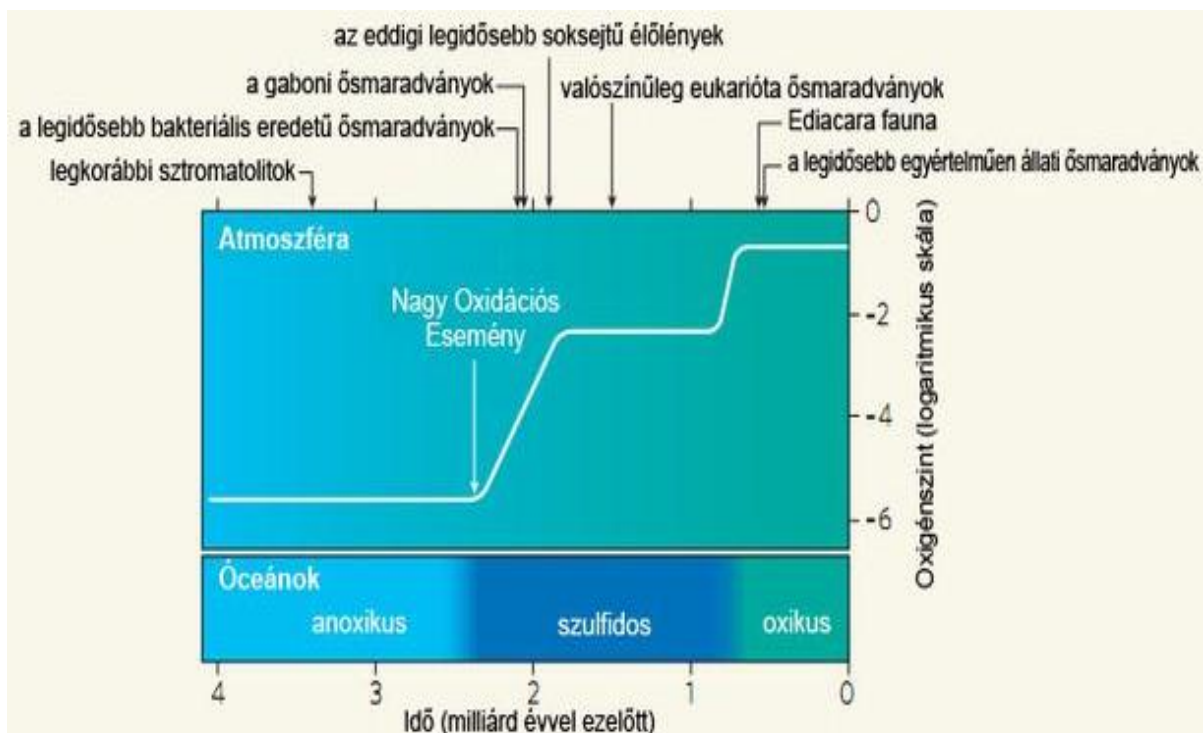
A kutatók úgy vélik, hogy ezekből a sejtekből indult ki a zöld szárazföldi növények evolúciója. Mintegy 500 millió évvel e komplex sejtek felbukkanása után a szárazföldet kezdte beborítani az egyszerű vegetáció, például zuzmók, mohák.

Az élővilág fejlődése - evolúciója - meglehetősen lassan indult meg, a középső és a felső prekambriumban (proterozoikumnak, a Föld őskorának is nevezik) igen keveset haladt előre.



Az élőlények leszármazási rendszere

(forrás: <http://m.cdn.blog.hu/mi/mikrobio/image/whittaker.jpg>)



(Forrás: <https://sg.hu/cikkek/tudomany/75461/tobb-mint-ketmilliard-eves-a-tobbsejtű-elet>)



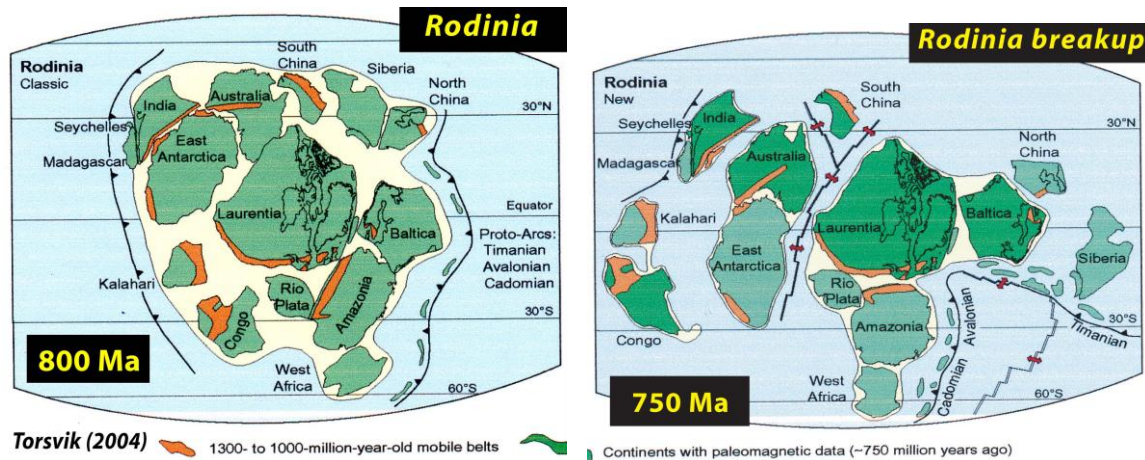
(www.pexels.com/photo/photo-of-ocean-during-dawn-2145831/)



Illusztrációk, ~2 milliárd évvel korábbi helyszínek lehetséges látképei.

Rodinia (orosz: Anyaföld) szuperkontinens 1,1 milliárd éve alakult ki és 750 millió éve kezdett feltöredezni.

Rodina



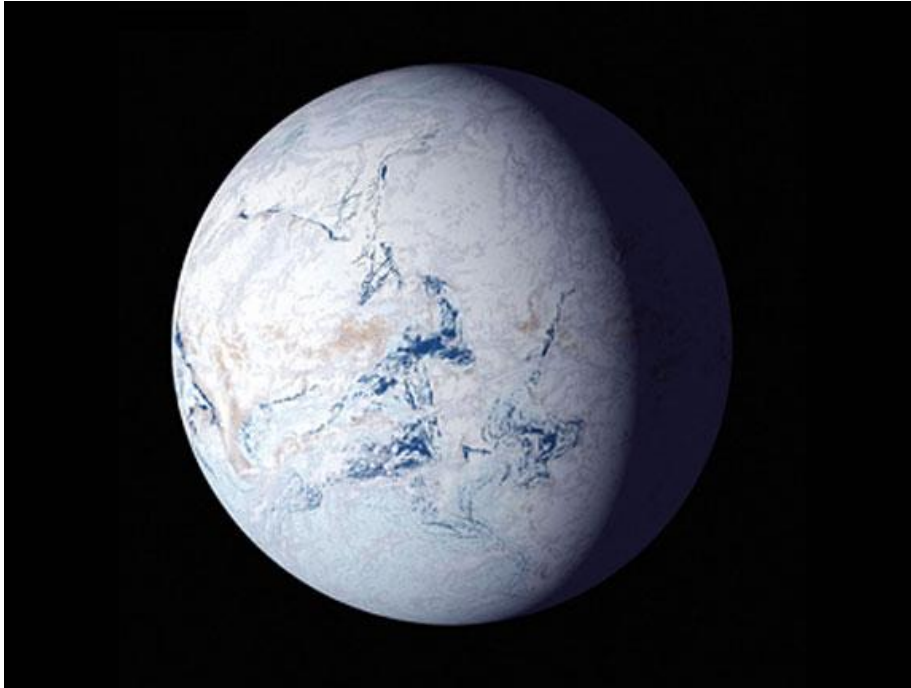
(forrás: science.sciencemag.org/content/300/5624/1379/F2)

A Rodinia szuperkontinens a késő protezorikum - kambriumi idején bomlott a legalább hat töredékre: Laurentia, Gondwana, Avalonia, Baltica, Kazahsztán és Szibéria, és korai paleozoikumidején a szétszóródott kontinentális töredékek újra alakulása során létrejött a Pangea néven ismert Permo-triász szuperkontinens.

Szétesését a köpenyből feláramló hatalmas hő- és anyagmennyiség indukálta. Ennek következtében rengeteg vas és szilícium került az óceánba, valamint üvegházhatású gázok (CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2O) a légkörbe. Egyrészt a megszilárduló mállekony vulkáni anyag sok széndioxidot kötött meg, másrészt a cianobaktériumok a megnövekedett széndioxid koncentráció miatt gyorsabban szaporodtak. Ezáltal csökkent az üvegházhatás, ami lehűlést okozva 850-635 millió éve kialakította a földtörténet legnagyobb eljegesedési sorozatát (Kriogén földtörténeti korszak), mely alatt a jégsapka az egyenlítőig húzódott (hólabda Föld).

Nemcsak a kontinensek, az óceánok is majdnem teljesen befagytak – akár 1 km vastagságban is – a Föld átlaghőmérséklete pedig a mai Marséval vetekedett, ami kb. $-50\text{ }^\circ\text{C}$ -t jelent.

A hatvanas években egyre több olyan kőzetminta gyűlt össze, melyek egy ősi jégkorszak meglétét bizonyítják. Ilyen üledékek a világ minden részéből előkerültek, s keletkezésüket a szakemberek 700 millió évvel ezelőtre teszik, az újproterozoikumra, amikor az életet csak egysejtűek képviselték a bolygón. Felmerült a kérdés, hogy miképpen enyhült meg később a teljes felületén befagyott Föld.



(Forrás: NASA,
<https://www.nytimes.com/2019/12/02/science/snowball-earth-ice-age.html>)

Hólabda-Föld
 illusztrációja

A választ a kutató a vulkánokban találta meg, melyek nagy mennyiségű szén-dioxidot bocsátanak ki. E gázt a csapadék kimossa a légkörből, a víz áthatol a kőzeteken, kémiai változásokat idéz elő bennük, a kalcium- és a bikarbonátionok az óceánokba jutnak, ahol az üledékképződés során karbonátos kőzetekké alakulnak. A megfagyott Földön azonban nem volt párolgás, eső, kémiai mállás. Így a vulkáni szén-dioxid a légkörben maradt, erősítve az üvegházhatást, ami a bolygó fölmelegedéséhez vezetett.

Joseph L. Kirschvink amerikai paleomágneseesség-kutató 1992-ben publikálta elméletét (Late Proterozoic Low-Latitude Global Glaciation: the Snowball Earth. In J. W. Schopf & C. Klein (eds.), *The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study*, Cambridge University Press, 1992. New York, pp. 51-52.).

Paul Hoffman szénizotóp-vizsgálatok során arra a következtetésre jutott, hogy a jégkorszak végére a C-13 aránya a C-12-höz képest olyan alacsonyra süllyedt, hogy fotoszintézis egyáltalán nem mehetett végbe. Dan Schrag geokémikus is továbbgondolta az elméletet, és megállapította, hogy a karbonátok keletkezése általában az óceánok legmelegebb részein megy végbe, így aligha képzelhető el, hogy glaciális üledékeket egyből ilyen vastag karbonátok kövessenek. Egy korábbi számítás szerint a mainál 350-szer több szén-dioxidnak kellett volna lennie a légkörben ahhoz, hogy a megfagyott Föld az üvegházhatás miatt felolvadjon. Ekkora mennyiség felhalmozódásához – vulkánosság révén – több millió év kellett.

Schrag elképzelése szerint azonban kezdetnek elég volt, ha megolvadt a világóceán jégtakarója, mert azonnal megindult a párolgás, és mivel a vízpára a vulkáni eredetű szén-dioxid mellett a leghatékonyabb üvegházgáz, a klíma nagyon rövid idő alatt erősen felmelegedhetett. Hoffman és Schrag 1998 augusztusában publikálták elképzeléseiket a Science-ben (Paul F. Hoffman, Alan J. Kaufman, Galen P. Halverson, Daniel P. Schrag: A Neoproterozoic Snowball Earth. Science, 281 (5381) pp. 1342-1346.).



(forrás: www.nationalgeographic.co.uk/environment-and-conservation/2019/08/tiny-pieces-plastic-found-arctic-snow)

A glaciális üledékek elterjedése alapján feltételezhető, hogy legalább öt eljegesedési ciklus volt, és legalább kettőt savas szuper-üvegházhatású klíma követett.



Ennek meghatározó szerepe lehetett a földi élet alakulásában is.

Az utolsó jeges fázis körülbelül 575 millió éve ért véget, amikor a legprimitívebb életformák után megjelent a máig is rejtélyes többsejtű Ediacara-fauna, majd később az élet robbanásszerű fejlődését mutató kambriumi állatvilág.

(forrás: www.pexels.com/photo/view-of-ice-on-sea-against-sky-325971/)



(fotó: Tom Garmeson, forrás: <https://maininfo.news/travel/it-s-one-of-the-largest-non-polar-glaciers-on-earth>)

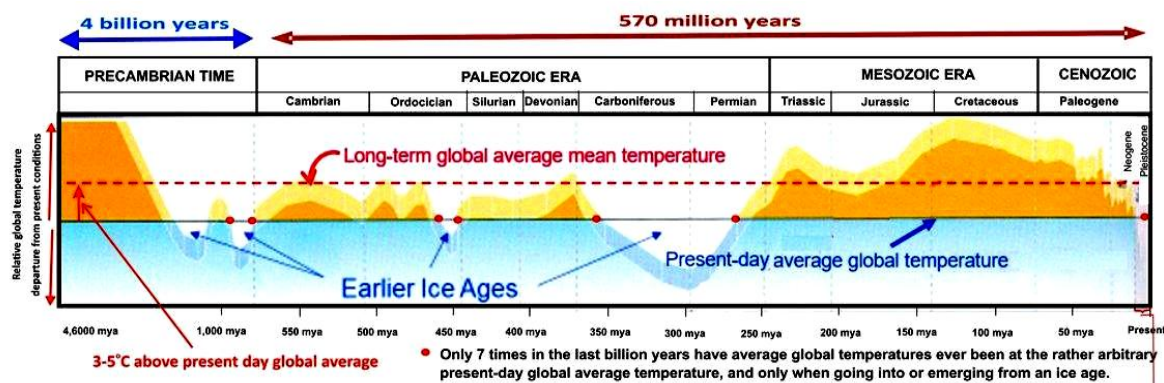


(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Lake_Fryxell)

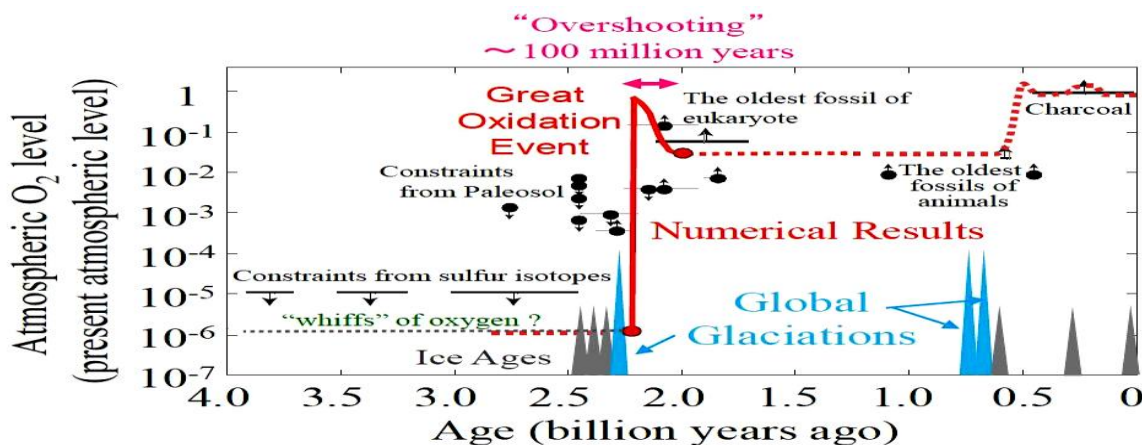
Illusztrációk, a „Hólabda-Föld” lehetséges látképei.

A Föld őskorából igen kevés kőület maradt fenn; ezek egysejtűek, többségében algák voltak, amelyek mint a növényvilág első képviselői jelentek meg. Hatalmas, szabálytalan alakú vánkossokként borították a parti szirteket, s mindenütt megtelepedtek, ahol megfelelő meleget és nedvességet találtak. E kezdetleges, ősi növényi szervezetek a megkötött napenergia felhasználásával szén-dioxidból és vízből egyszerű szerves anyagot tudtak fölépíteni (fotoszintézissel), mely döntő jelentőségű volt az élővilág további fejlődése szempontjából. E kicsiny növények ugyanis nemcsak szerves anyagot termeltek, hanem a fotoszintézis során oxigént is szabadítottak fel, amely más típusú élőlények számára vált nélkülözhetetlenné. Másrészt, azok a szerves anyagok, amelyeket szervezetükben felhalmoztak, egyben az első állati szervezetek táplálékát szolgáltatták.

Az 1 milliárd éves üledékes kőzetekben talált leletek tanúsága szerint az élővilág az állatok és növények hirtelen formagazdagságával bontakozott ki; megjelentek a vízigombák és a zöldmoszatok, az állatvilágban létrejöttek az egysejtűek, a csalánozók, a férgek és az ízeltlábúak. Elvált egymástól az őssz és az újszájú állatok fejlődési vonala. Az állatvilág legelső képviselői közé tartoztak az ostorosoknak (Flagellata) nevezett élőlények. Közöttük ma is élnek olyan fajok, amelyek mintegy átmenetet képviselnek a növények és az állatok között.



(forrás: www.dr-robert-fagan.com/posted-articles/)



(forrás: www.u-tokyo.ac.jp/focus/en/articles/a_00364.html)

Avalon fossziliák megközelítőleg 575-560 millió évesek. Általában mélytengeri környezetben élt az együttes (Új-Foundland, Anglia), de egyes ehhez hasonló, de fiatalabb társulások megjelentek sekélyebb környezetben is (pl. Szibéria). Az együttes uralkodó formái a Rangeomorphák.



(forrás: www.ediacaran.org/rangeomorphs.html)

Rangeomorph kőületek Newfoundlandból. Balra: *Beothuk plumosa*; Jobb felső: Egyetlen elsődleges ág a *Bradgate* sp. ; Jobb alsó: *Charnia masoni*.



(forrás: www.wallpaperflare.com/lava-flood-near-sea-illustration-nature-rocks-volcano-smoke-wallpaper-pbirx)

Illusztráció, egy ~500 millió évvel korábbi helyszín lehetséges látképe.



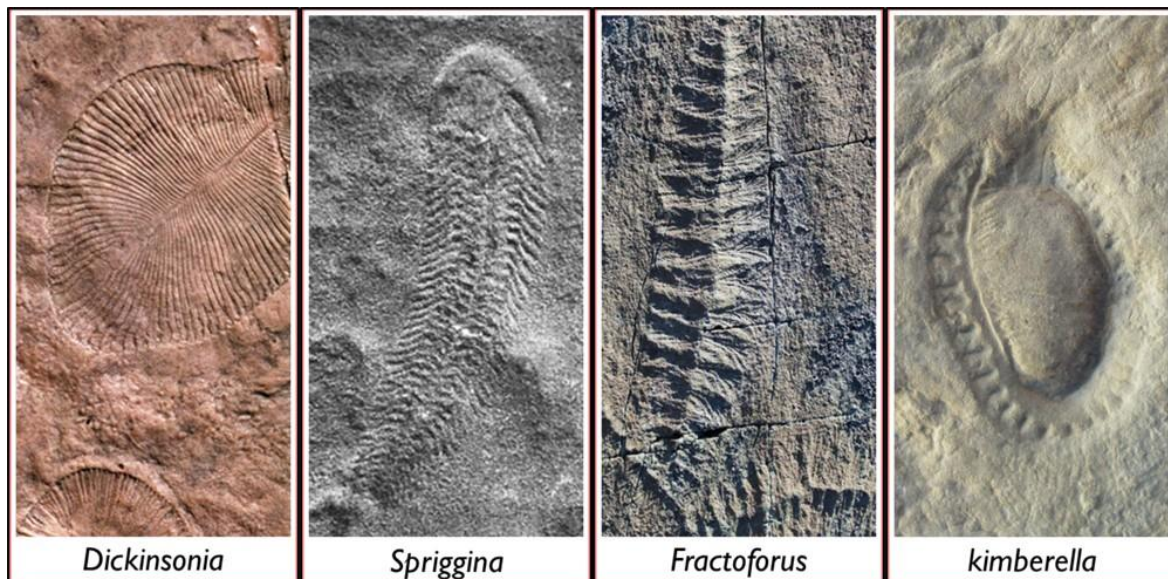
(forrás: criticalbiomass.blog.hu/2011/02/23/a_tobbsejtuseg_eredete_1)

Kínából került elő számos, kifejezetten érdekes fosszília, amelyek egy ún. Lantian bióta képviselői lehetnek. A Lantian az eddig ismert legősibb ediakarai együttesnél, az Avalonnál is idősebb lehet a becslések szerint, és nagyon másképpen is néz ki. Ami összességében azt sugallja, hogy az élet már ebben az egészen ősi korban is igencsak sokszínű és gyorsan változó lehetett.



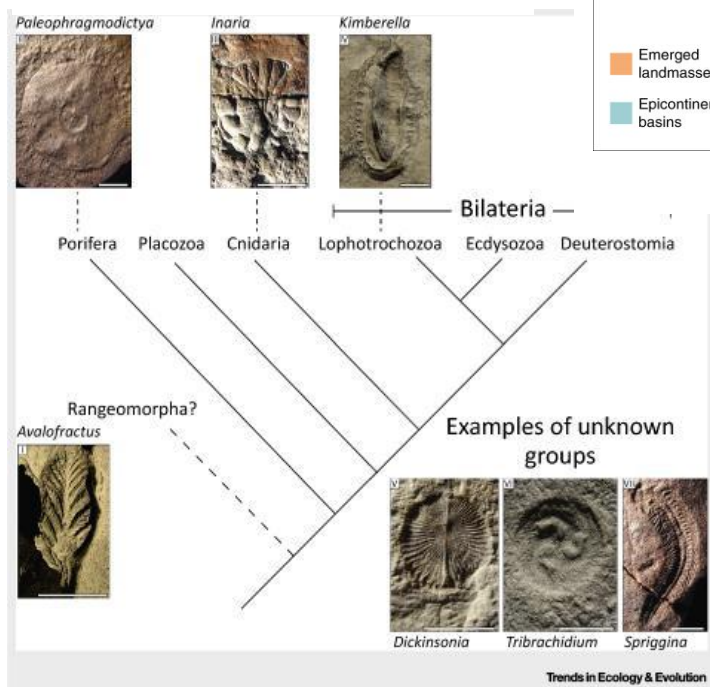
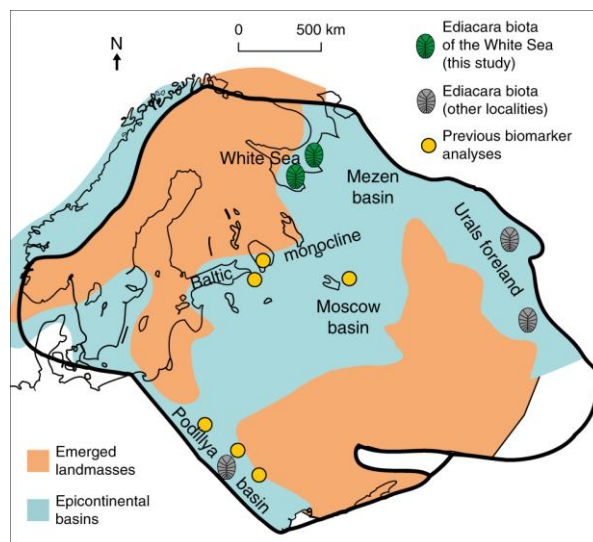
(forrás: fotó: istock, Baffin-sziget (Észak-Kanada), az egy milliárd éves észak-atlanti craton maradványa – a Föld kontinentális kéregének ősi részé.
<http://www.geologypage.com/2020/03/geologists-find-lost-fragment-of-ancient-continent-in-canadas-north.html>)

Illusztráció, ~500 millió évvel korábbi helyszín lehetséges képe.



(forrás: criticalbiomass.blog.hu/2018/02/05/570_millio_eves_embriok)

(forrás: Ilya Bobrovskiy, Janet M. Hope, Elena Golubkova & Jochen J. Brocks, Nature Communications volume 11, Article number: 1261 (2020) Food sources for the Ediacara biota communities www.nature.com/articles/s41467-020-15063-9).



(forrás: doi.org/10.1016/j.tree.2018.06.003 és www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016953471830140X)

565 millió éves mélytengeri padlók, amelyek pontosan megőrzik a proterozoikum földtörténeti előidő ökológiáját.



(forrás:
www.newfoundlandlabrador.com/trip-ideas/travel-stories/mistaken-point-ecological-reserve-a-story-565-million-years-in-the-making)

Az Avalon-félsziget legdélebbi csücskében található egy „Mistaken Point” néven ismert hullámtörő meredek sziklafal. A ferde és hasadékos üledékes kőzetek „mudstones” (sárkövek) síkjain kiváló részletességgel megőrzött, legrégebbi komplex multicelluláris (összetett többsejtű) élet legrégebb fossziliái találhatóak.

Amikor Rodinia felszakadt, három részre oszlott: Protolauráziára, Protogondwanára, és a kisebb Kongó-kratonra. Protolauráziát és Protogondwanát a Prototethys-óceán választotta el egymástól. Majd Protolaurázsia is feltöredezett, ezzel alakultak ki Laurentia, Szibéria és Baltika kontinensek. Baltika Laurentiától keletre Szibéria pedig Laurentiától északkeletre távolodott el. A felosztással két új óceán is keletkezett, az Iapetus-óceán és Paleoázsiai-óceán. A legtöbb fent említett szárazföld ismét egyesült, hogy létrehozzák a viszonylag rövid életű Pannotia szuperkontinentet. Ez a szuperkontinens nagy földterületeket foglalt magában a sarkvidékek és az egyenlítő közelében, amelyeket csak viszonylag keskeny csík kötött össze.

Pannotia (vagy Vendia), mintegy 600 millió éve formálódott a korábban (~750 millió évvel ezelőtt) három nagyobb darabra széttesett Rodinia töredékeiből, az akkori kontinentális kéreglemezek egyesülésével alakult ki. Laurázsia elődje, az ős-Gondwana és a Congo-kraton ismét összeforrt, de már az egységesedési fázisban aktív riftesedés indult meg. A szárazulatok nem voltak egységesek, mert a hatalmas kontinentális talpzatok (self) sekélytengerei elválasztották egymástól a kiemelkedéseket. Rövid ideig létező szuperkontinens volt a földtörténet neoproterozoikum idejének ediakara időszakában.



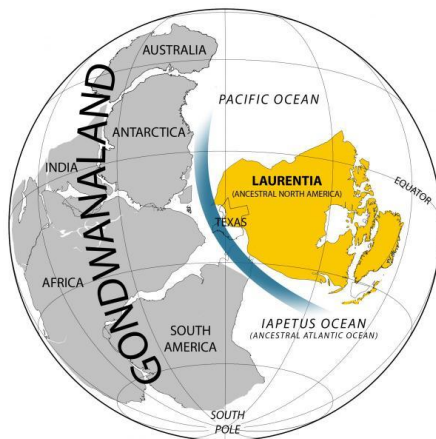
A késő proterozoikumi szuperkontinens sokban különbözik a Pangea-tól. McWilliams 1981-ben mutatta be elméletét, amelyet paleomágneses adatok alapján, készített és ennek a szuperkontinensnek a 625–550 milliárd év körüli felbomlását Bond, Nickeson és Kominz 1984 dokumentálta. Bond et al. rekonstrukciója. gyakorlatilag azonos a Dalziel 1997 és másokéval.

Pannotia

(forrás: alchetron.com/Pannotia)

Pannotia 540 millió évvel ezelőttig állt fenn, a kambrium időszak kezdetéig, majd felszakadozott, aminek következtében kialakultak Laurentia, és Baltika kontinensek, valamint a déli szuperkontinens, az első Gondwana, amely magában foglalta a mai Antarktisz, Dél-Amerikát, Afrikát, Madagaszkárt, Ausztráliát, Új-Guineát, Új-Zélandot, az Arab-félszigetet és Indiát.

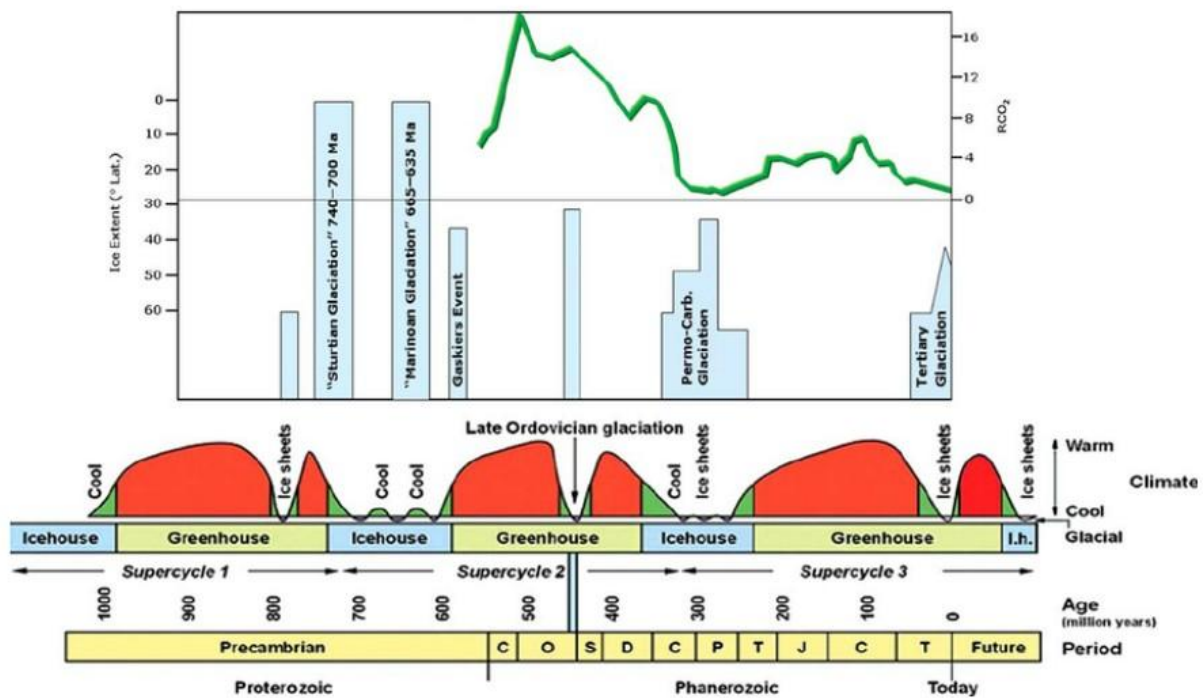
A rekonstrukció a korai kambriumi időszakban mutatja, hogy Laurentia ősi kontinense - Észak-Amerika ősi magja - már elvált a Gondwanaland szuperkontinenstől.



A Föld 4,5 milliárd éves történetének egyik legjelentősebb eseménye az 530 millió évvel ezelőtti „kambriumi robbanás”.

Az evolúció hulláma szinte minden modern állatcsoport hirtelen megjelenéséhez vezetett, de ennek oka rejtély.

(forrás: phys.org/news/2014-10-massive-geographic-triggered-explosion-animal.html)



Global climate, glaciations and atmospheric carbon dioxide levels through time from 1000 Ma to 100 Ma in the future. Carbon dioxide levels are shown as a ratio compared to present-day levels. The maximum extent of ice cover during the main periods of glaciation, as inferred from the preservation of glacial sediments and climate modelling, is shown in degrees of latitude from the poles. Ice extent data in past after Crowell (1999); global climate change based on geological data as summarized by Coppold & Powell (2000).

(forrás: https://www.researchgate.net/figure/Global-climate-glaciations-and-atmospheric-carbon-dioxide-levels-through-time-from-1000_fig1_258357576)



Returning to pick up survivors - White Island - 9th. Dec. 2019

Photo: Alessandro Kauffmann

(forrás: www.delahyde.com/NZ/index.html)



(forrás: brightsblog.wordpress.com/2015/05/17/lavamassen-vor-japan-wie-das-leben-eine-neue-insel-erobert/)

Illusztráció, egy ~700 millió évvel korábbi lehetséges tájképet mutat.

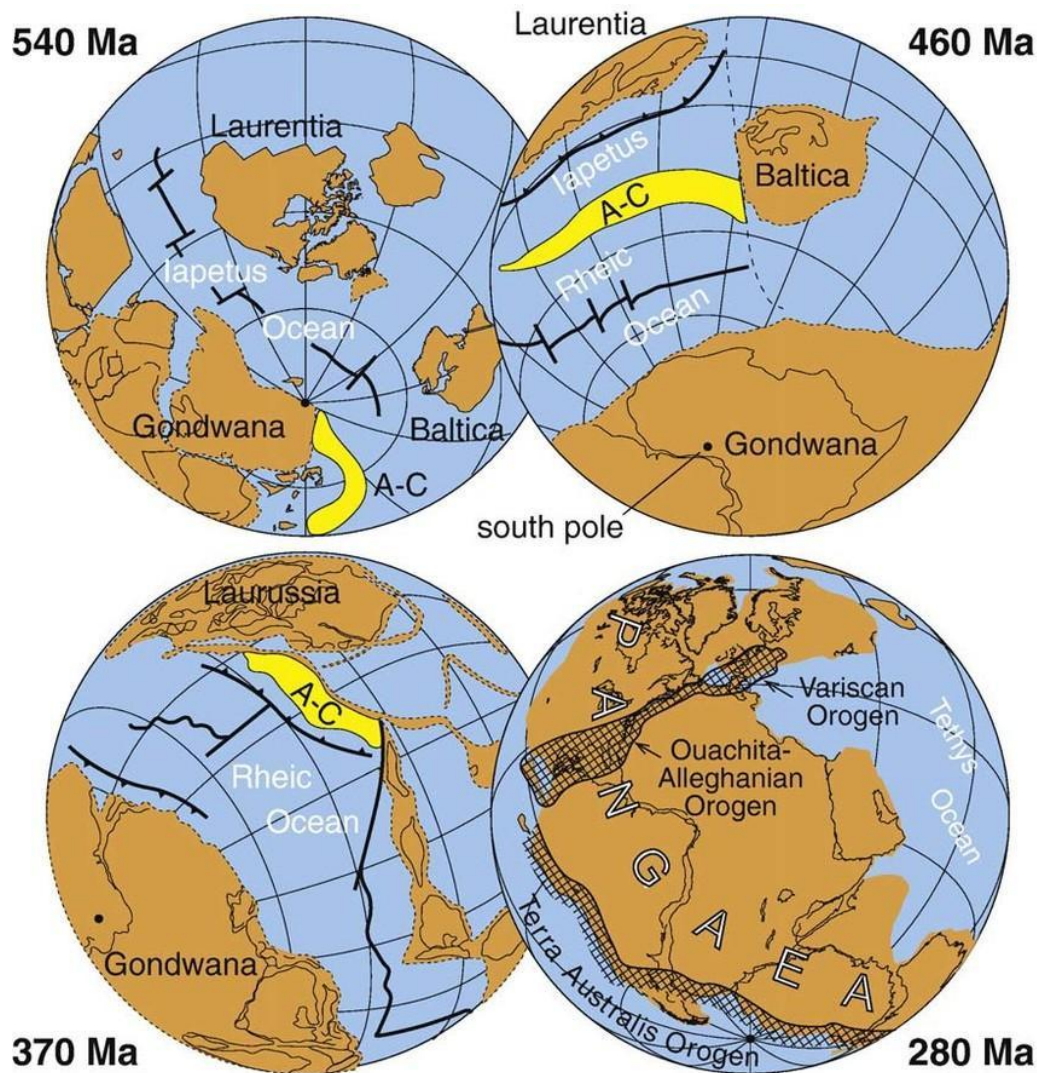
(Csendes-óceánban zajló vulkanikus folyamatok következtében új sziget alakult ki Japán mellett. Mindkét sziget az úgynevezett Vulkán-szigetek ívéhez tartozik, ami Japántól délre húzódik, lemeztektónikailag pedig a Mariana szigetív része.)

Fanerozoikum (541 – 0 millió évvel ezelőtt)

eon három idejéből az első idő (vagy éra) földtörténeti egységének

A paleozoikum (541 – 251 millió évvel ezelőtt),

őidő, kezdetén a földi élet fejlődésében új szakasz következett be.



(forrás: www.researchgate.net/figure/Palaeozoic-reconstructions-modified-from-Scotese-1997-Cocks-and-Torsvik-2002_fig3_223716583)

Kambriumtól a Devonig (545 – 360 millió év között) Az egyre fejlettebb és változatosabb élővilág hatására gyorsan nőtt a légköri oxigén mennyisége és kialakult az ózonréteg. Kialakult a Gondwana szuperkontinens, majd további ütközések következményeképpen a Pangea.

A kontinensek ütközése és más folyamatok hatására több térségben megkezdődött a hegységképződés. Az éghajlat változatos volt, az északi félgömbön meleg, viszonylag kiegyenlített, a déli félgömbön elkülöníthető az ordoviciumi jégkorszak kb. 430 millió évvel ezelőtt.

A kambrium (541 - 485 millió évvel ezelőtt) időszakban az élőlények még csak a tengert népesítették be, és számos tengeri állattörzs alakult ki. Ezek között különösen nevezetesek voltak a különböző ízeltlábúak, főként a háromkaréjú ősrákok (Trilobiták).



(forrás: www.scinexx.de/news/geowissen/ausloeser-der-kambrischen-explosion-gefunden/)

Háromkaréjos ősrákok altörzse (Trilobita). A váz hosszanti irányban is három részre tagolódott. Nagyságuk 3 és 70 cm között változott. A trilobiták kizárólag tengeriek, a többségük az aljazaton mozgott, virágkoruk a késő-kambriumban és az ordoviciumban volt.



(illusztráció forrása: www.freepik.com/free-photos-vectors/proterozoikum)



(forrás:
opaleoblog.blogspot.com/2015/04/anomalocaris.html, és
nationalgeographic.com/news/2011/5/110526-giant-sea-fossils-scie <https://nce-nature-briggs-anomalocaridids/>)



Anomalocaris candensis volt korának legnagyobb ragadozója és valószínűleg szája csápjaival fordította ki az óceán homok ágyát kis állatok után kutatva.

A kihalt Stylophoran klád (rendszertani csoport) tagjai furcsa morfológiai felépítésük ellenére kétséget kizáróan korai tüskésbőrűek voltak – állítja a Geobios paleontológiai folyóirat februári számában megjelent kutatási beszámoló.

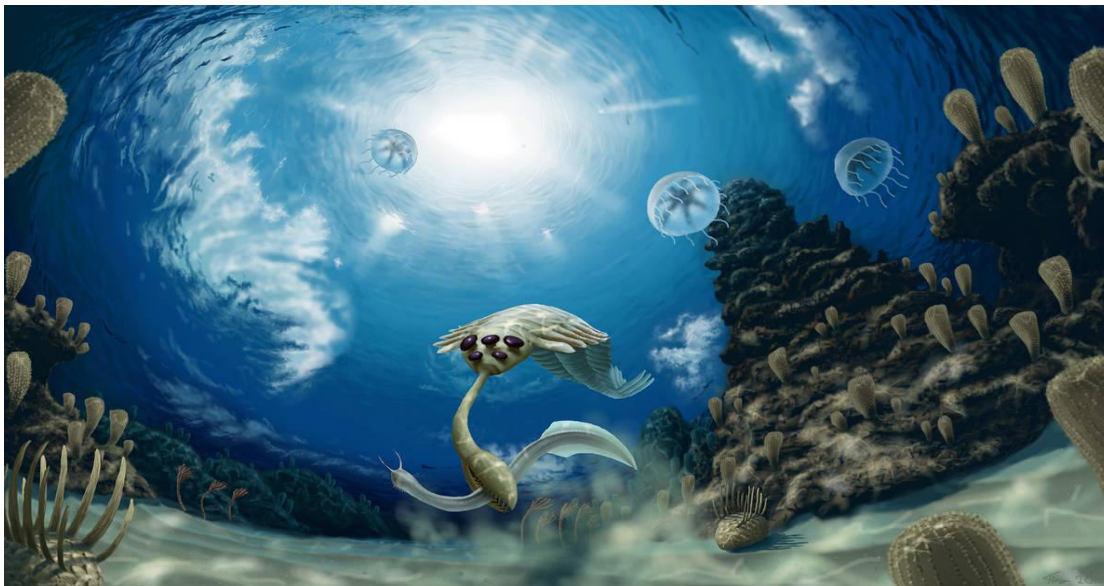
A francia Nemzeti Természettudományi Kutatóintézet (CNRS) paleontológusai ebben azt állítják, hogy eredményeik alapján lezárható az a több mint 150 éve zajló őslénytani vita, amely a bizarr külsejű őssálat evolúciós hovatartozása körül mostanáig zajlott.



(forrás: illusztráció: Rich Mooi/California Academy of Science, a kép forrása: Emmanuel Robert, a fotó egy Marokkóból származó *Thoralicystis* nemzetség fossziliáról, www.livescience.com/64832-ancient-starfish-relative-mystery-solved.html,

<https://qubit.hu/2019/02/25/150-eve-vitaznak-egy-felmilliard-eves-titokzatos-lenyrol-most-latszik-eldolni-a-meccs>, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016699518301219?via=ihub)

A Cornuta a paleozoikumiechinodermák rendje, amely csak fosszilis formában ismert, a carpodok morfo-csoportjának vagy a Homalozoa-nak tulajdonítható. A mitrátával együtt a Stylophora osztályt alkotják. Az 540 és 370 millió évvel ezelőtt élt, aszimmetrikus testfelépítésű tengeri állat pár centiméter széles és hosszú, az ábra jobb oldalán látható „farokból”, kalcittartalmú lemezekkel borított középső testrészből és csápszerű nyúlványokból álló állatkát szilárd vázat is tartalmazót.

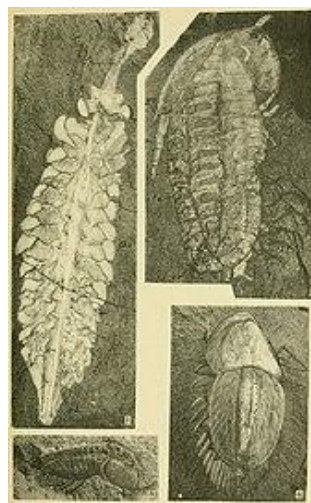


(forrás: www.deviantart.com/plioart/art/The-Cambrian-explosion-547702794 és <https://paleo-gorgo.webnode.fr/le-cambrien/>)

Az *Opabinia regalis* hossza fejtől farokig 4-7 centiméter között volt. Az állatnak volt egy üreges ormánya is. A fej szokatlan jellemzőket mutat: öt szem, egy száj a fej alatt és hátrafelé néz, és egy ormány, amely valószínűleg ételt adott át a szájnak. *Opabinia* valószínűleg a tengerfenéken élt.



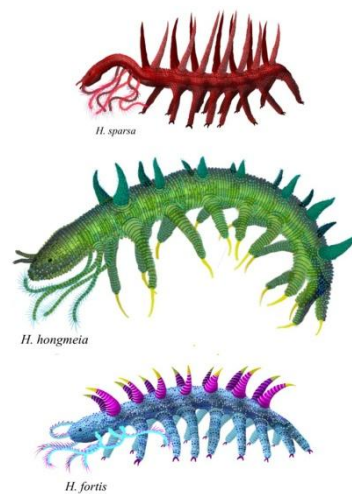
(forrás: burgessshalearthropod2.wordpress.com/taphonomy/, és Charles Doolittle Walcott: *Kambriumi Geológia és őslénytan II*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Opabinia>)



(forrás: <https://burgess-shale.rom.on.ca/en/fossil-gallery/view-species.php?id=93&m=6&>)

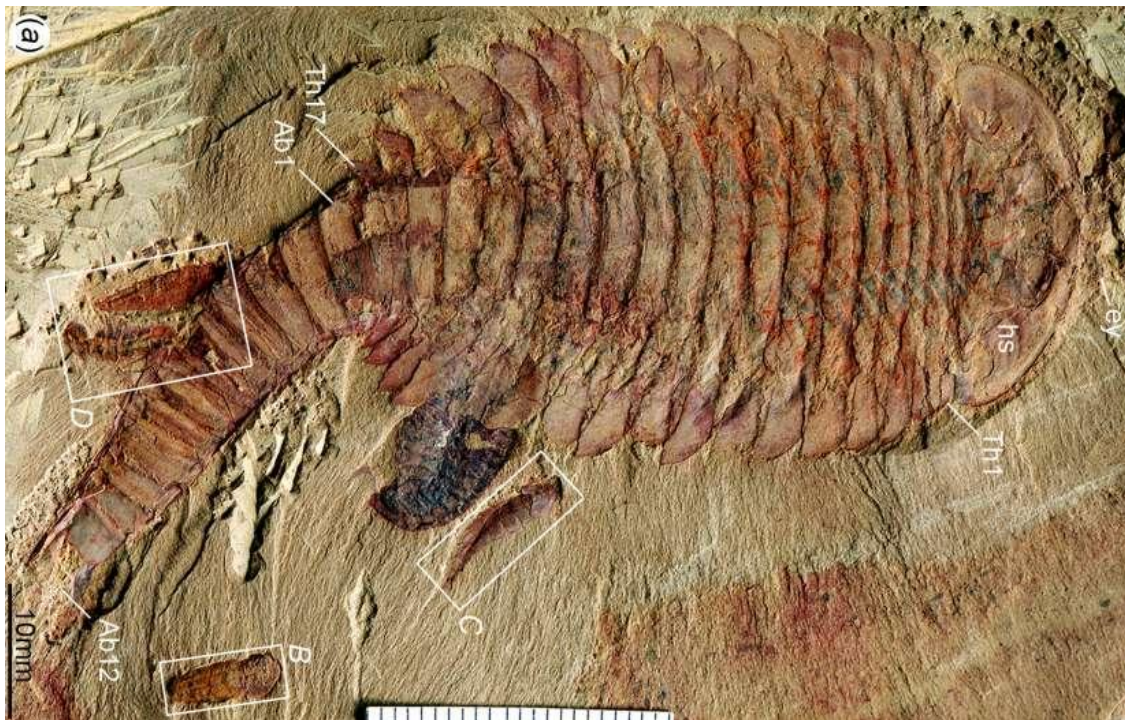


(forrás: www.steinkern.de/praeparation-und-bergung/tips-tricks-und-fallbeispiele/1357-hallucigenia-gv.html)



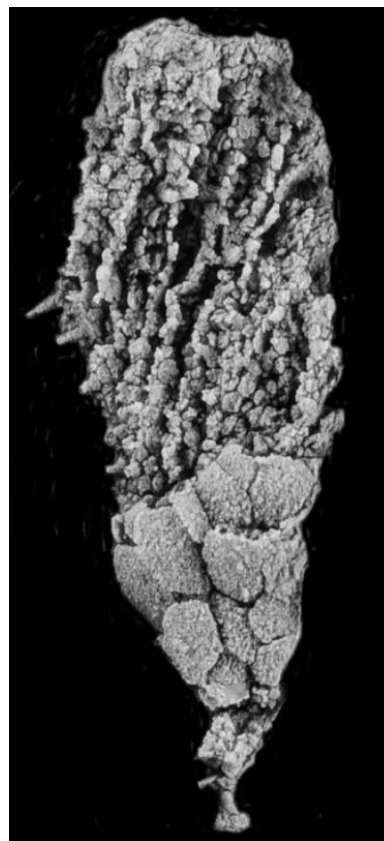
(forrás: www.facebook.com/groups/248051158671768/permalink/2318329178310612, és <https://en.wikipedia.org/wiki/Hallucigenia>)

Hallucigenia egy 0,5-5,5 cm hosszú cső alakú szervezet hét vagy nyolc pár karcsú lábbal, mindegyik egy pár karmal végződik. A Hallucigenia a kambrium idején élt. Az egyik végén kerek „fej” található. Törzse hengeres, hét pár tüskét hordoz, amelyek felfelé és kifelé állnak. A tüskék kúp alakúak, a törzsbe ágyazódnak és az ismert karmos féreglábúak között nagyon hosszúnak számítanak. Minden pár túske alatt egy pár láb van.



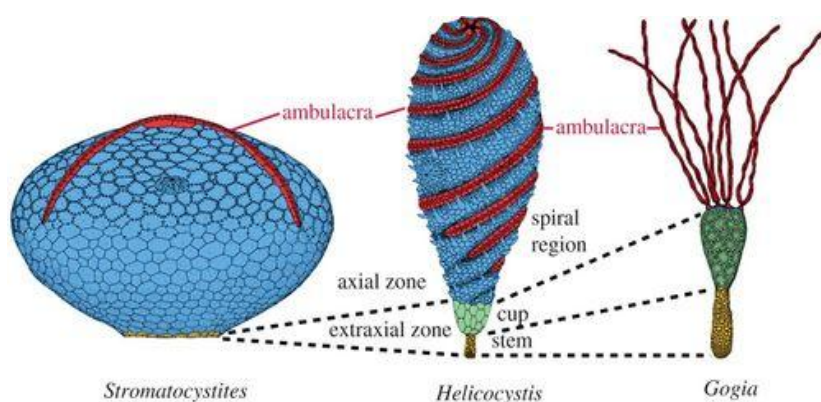
(www.yahoo.com/news/520-million-old-fossil-fuxianhuia-110002045.html)

Egy apró, trilobita-szerű *Fuxianhuia protensa* nevű lény. Az utódok gondozása a születés után, egy olyan stratégia, amelyet egyes állatok arra használnak, hogy maximalizálják annak az esélyét, hogy utódaik túléljék. Ennek „kiterjesztett szülői gondozás”-nak a legrégebbi bizonyítéka fedezhető fel ezen az 520 millió éves fosszilián.



(forrás: 1. kép: Kovács András/Samuel Zamora/Természettudományi Múzeum, 2. kép: Andrew Smith, Proc. Royal Soc.B, www.livescience.com/37723-image-gallery-bizarre-cambrian-creature.html, és www.nbcnews.com/science/science-news/ancient-relative-starfish-looked-spiky-cigar-flna6C10435424)

Az illusztráció egy Helicocystis, egy ősi rokona a tengeri csillagnak és a tengeri uborkának. 2012-ben a kutatók egy 520 millió éves fossziliát fedeztek fel, amely az egyik legkorábbi ismert, ötszörös szimmetriával működő echinodermák egyike.



A Helicocystis marokkóensisnek testén öt spirális barázda volt, amelyek kinyíltak és bezártak, hogy elfogják az ételt.

(forrás: royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2013.1197)

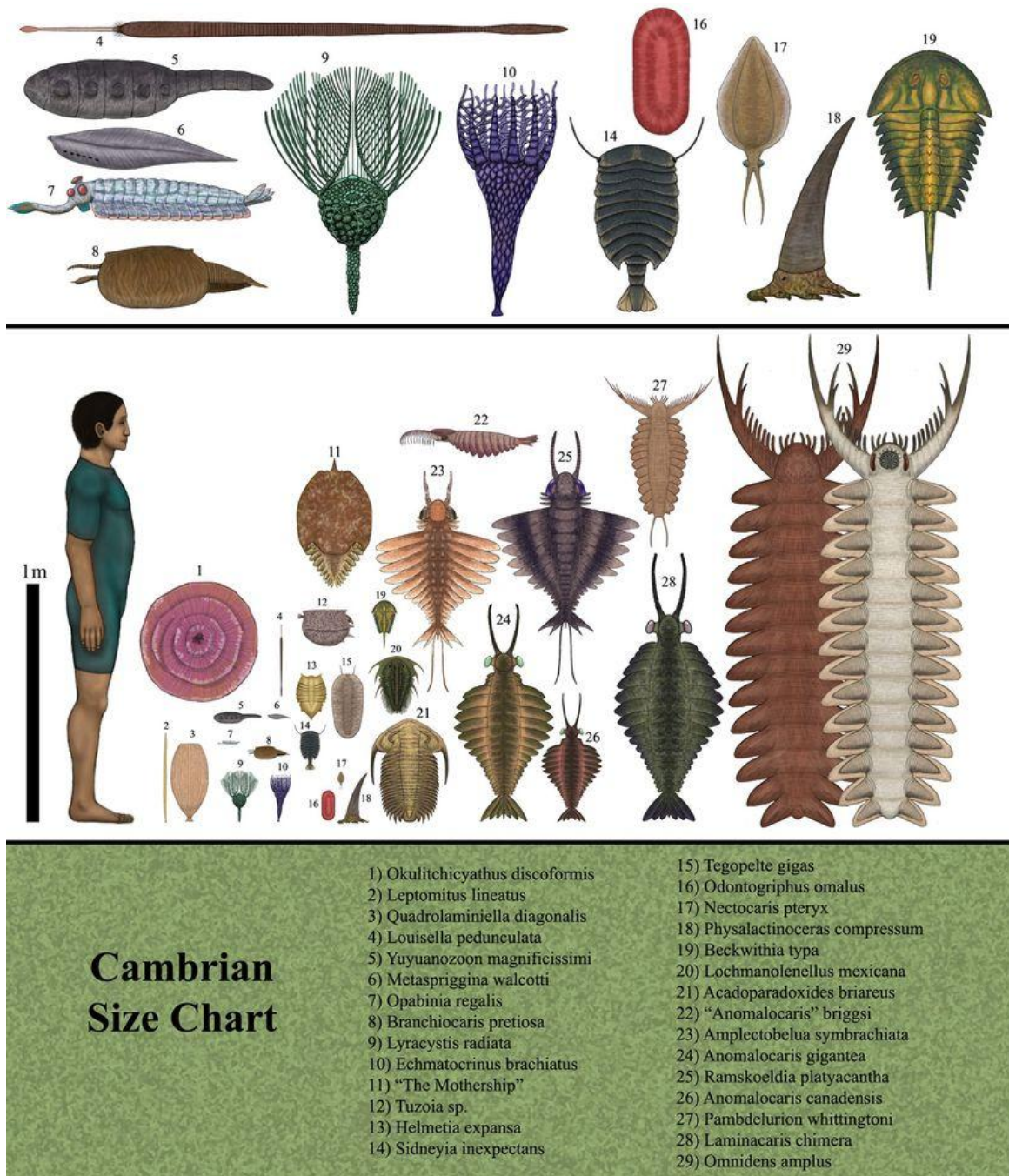
A kambriumi echinodermák testrégióinak homológiáját és relatív fejlődését mutató ábra.



(forrás: Holly Sullivan, www.sulscientific.com, Stephen Pates, Rudy Lerosey-Aubril, Allison C. Daley, Carlo Kier, Enrico Bonino, Javier Ortega-Hernández: The diverse radiodont fauna from the Marjum Formation of Utah, USA (Cambrian: Drumian), PeerJ 9:e10509 <https://doi.org/10.7717/peerj.10509>, Published January 19, 2021 PubMed 33552709, <https://peerj.com/articles/10509/?td=fb&fbclid=IwAR3X2kL5Ex8o--jxKw2FSXCRUTKoK4O0KhBnyLQeEoIC0Bv45pfPCkAS3Cc>, és serval.unil.ch/resource/serval:BIB_415F29EBA738.P001/REF, és www.researchgate.net/publication/332656191_New_radiodonts_from_the_Drumian_Miaolingian_Marjum_Formation_of_Utah_USA)

A kambriumi (drumian) Marjum biota művészi rekonstrukciója.

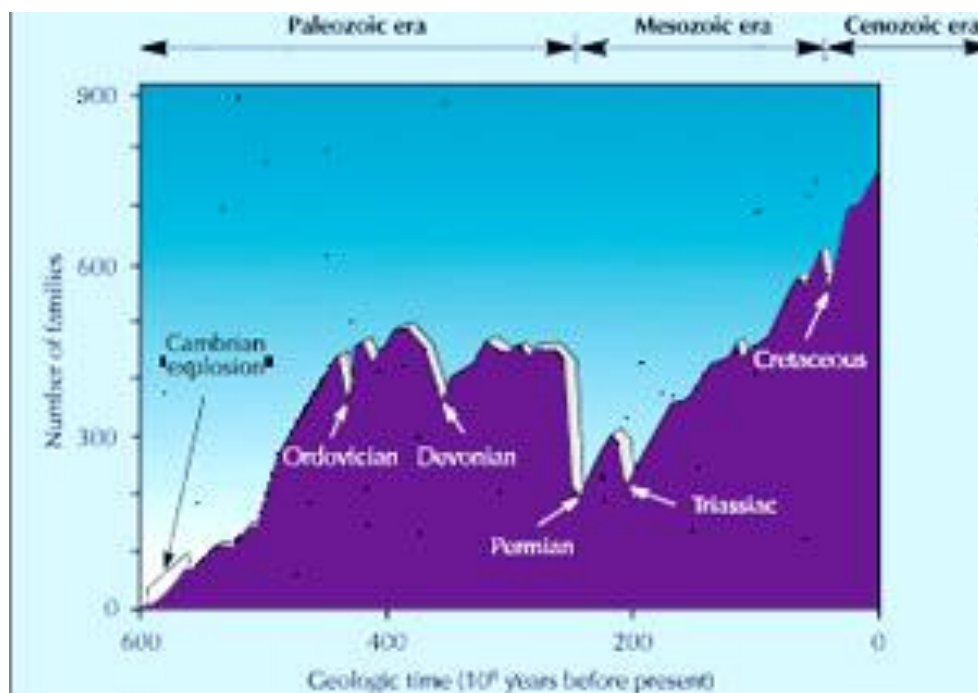
A taxonok számkulcsa az illusztráción: 1. *Scathascolex minor*?; 2. *Diagoniella cyathiformis*; 3. *Hyolithes* sp.; 4. *Modocia typicalis*; 5. *Marpolia*-mint az algák; 6. *Leptomitella metta*; 7. *Peytoia nathorsti*; 8. *Pahvantia hastata*; 9. Cubozoan medúza; 10. *Perspicularis*? ellipszelpelta; 11. *Oesia disjuncta*/*Margaretia dorus*; 12. *Tuzoia guntheri*; 13. *Bathyriscus fimbriatus*; 14. *Sphenoecium wheelerensis*; 15. *Canthylotreta marjumensis*; 16. *Castericystis vali*; 17. *Choia hindei*; 18. *Caryosyntrips camurus*?; 19. *Branchiocaris pretiosa*?; 20. *Gogia spiralis*; 21. *Buccaspinea cooperi*; 22. *Itagnostus interstrictus*; 23. *Chancelloria* sp.



(forrás: Fabio Alejandro art and pictures, A kambriumi fauna.

<https://www.facebook.com/dragonhundersart/posts/230731615067701>,
és www.facebook.com/dragonhundersart/photos/a.118929066247957/230728231734706/)

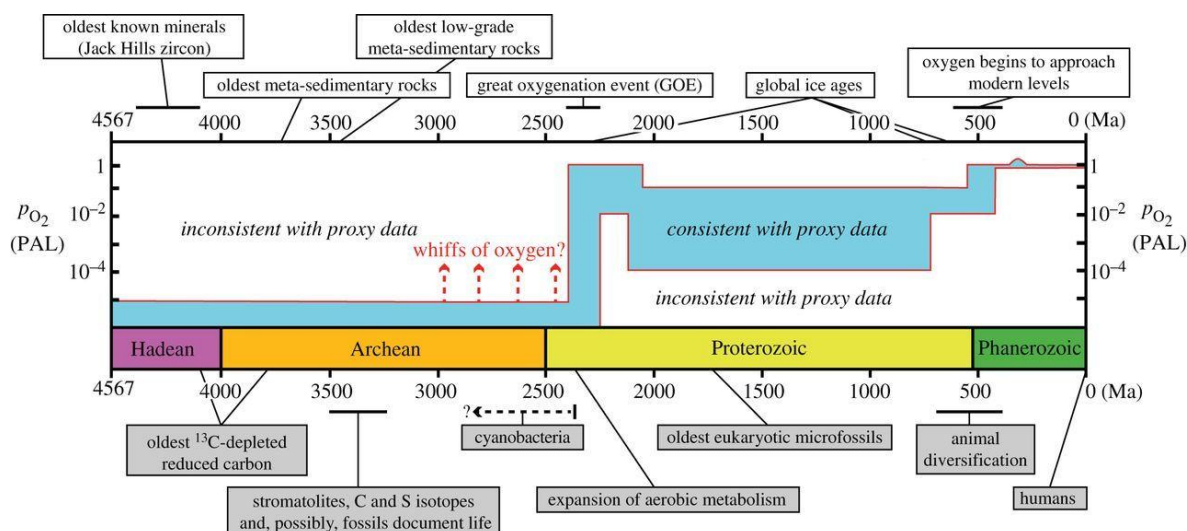
A kambrium az első olyan földtörténeti időszak, amelyből a tengeri szivacsoknál és medúzáknál bonyolultabb többsejtű élőlények fossziliái maradtak fenn. Egyes elképzelések szerint a kambriumban hirtelen mintegy ötven élőlénytörzs jelent meg úgy, hogy a legtöbbjük elődeiről nem is tudunk. Az organizmusoknak ezt a földtörténeti mértékkel gyors kirajzását nevezzük kambriumi robbanásnak.



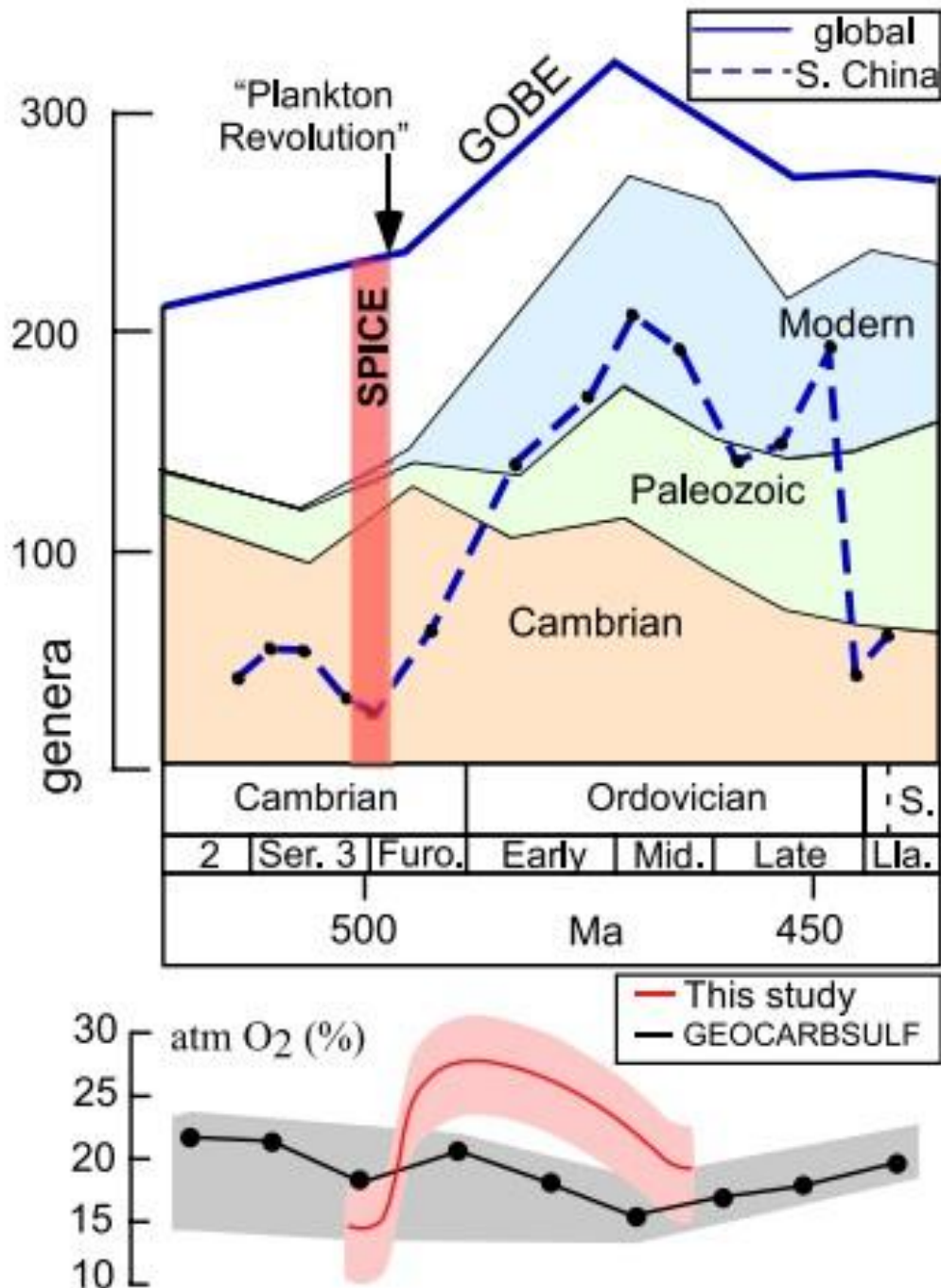
(forrás: biocyclopedia.com/index/general_zoology/macroevolution_major_evolutionary_events.php)

A tengeri állatok családszámának változása a kambriumi időszaktól napjainkig. Az éles csökkenések a diagramon a tengeri állatok öt jelentős kihalását jelentik. A kihalások ellenére a tengeri családok száma a mai napig nőtt.

Stephen Jay Gould (Harvard University) amerikai őslénykutató, evolúciós biológus és tudománytörténész szerint a tengeri élőlények fosszilis rekordja szerint a tömeges kihalások körülbelül 26 millió éves időközönként ismétlődnek. E tömeges kihalások közül öt különösen katasztrofális volt.

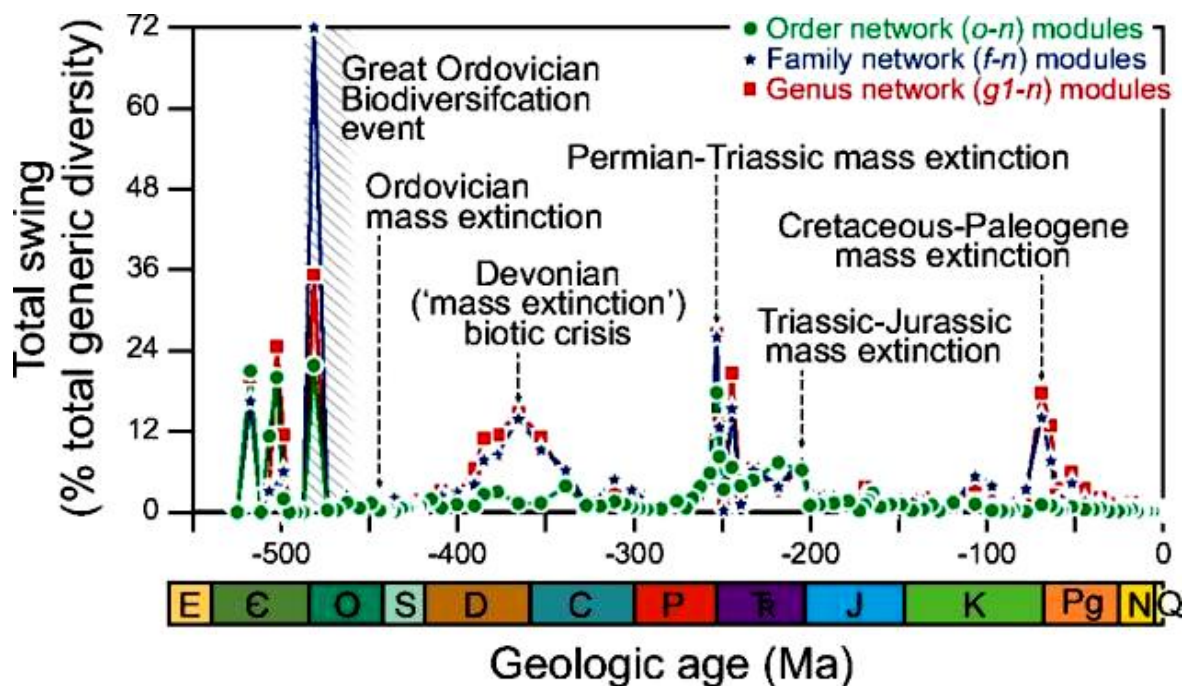


(forrás: royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2015.0493
<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstb.2015.0493>)



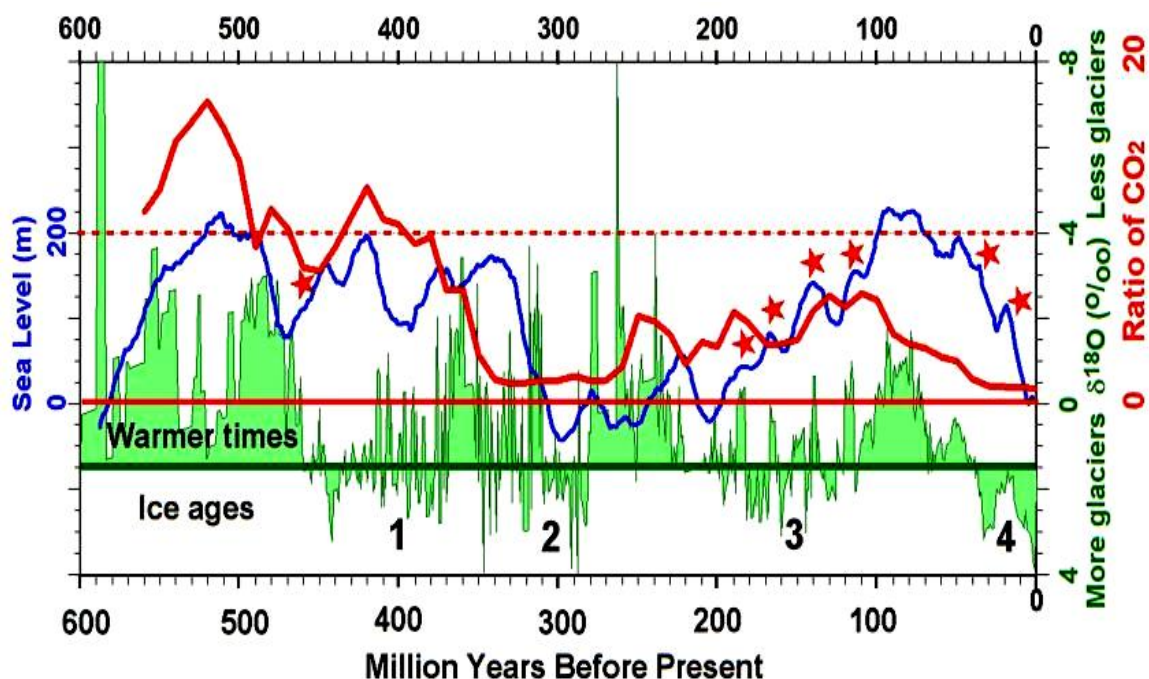
(forrás: Matthew R. Saltzman, Seth A. Young, Lee R. Kump, Benjamin C. Gill, Timothy W. Lyons, and Bruce Runnegarf: Pulse of atmospheric oxygen during the late Cambrian, PNAS March 8, 2011 108 (10) 3876-3881; www.pnas.org/content/108/10/3876, www.pnas.org/content/108/10/3876/tab-figures-data, <https://doi.org/10.1073/pnas.1011836108> www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3053972/)

A légköri oxigén hirtelen növekedése a késő kambriumi időszakban. Amerikai kutatók tanulmányukban a légköri oxigén emelkedését összefüggésbe hozták az élet kambriumi robbanással.



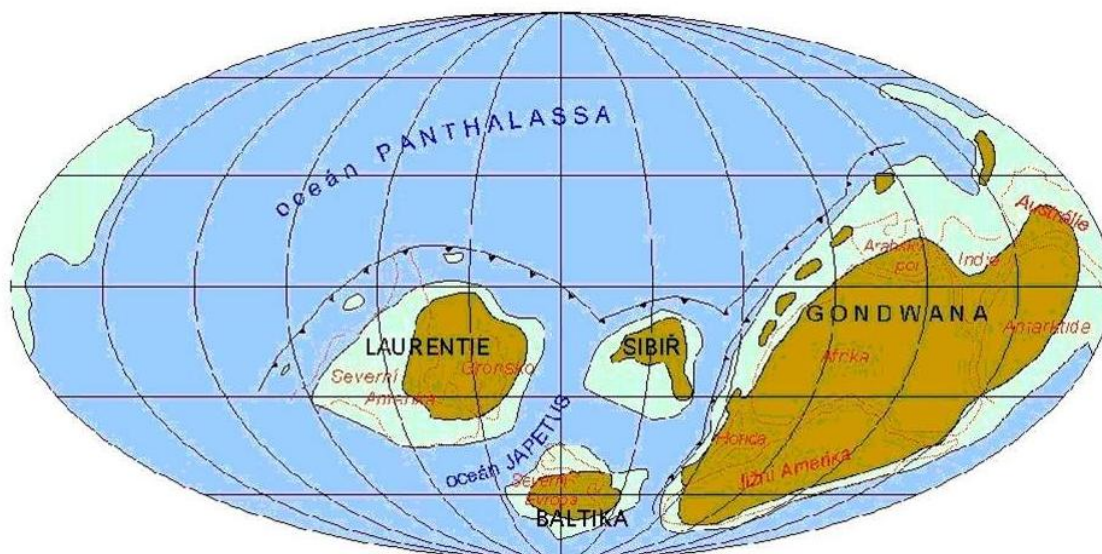
(forrás: timescavengers.blog/2020/04/15/ecological-impacts-of-mass-extinctions-with-data-from-the-fossil-record/)

A rendek, a családok, és a nemzetségek változatosságának alakulása, továbbá a nagy kihalási események (biotikus válság) a földtörténeti időskálán.

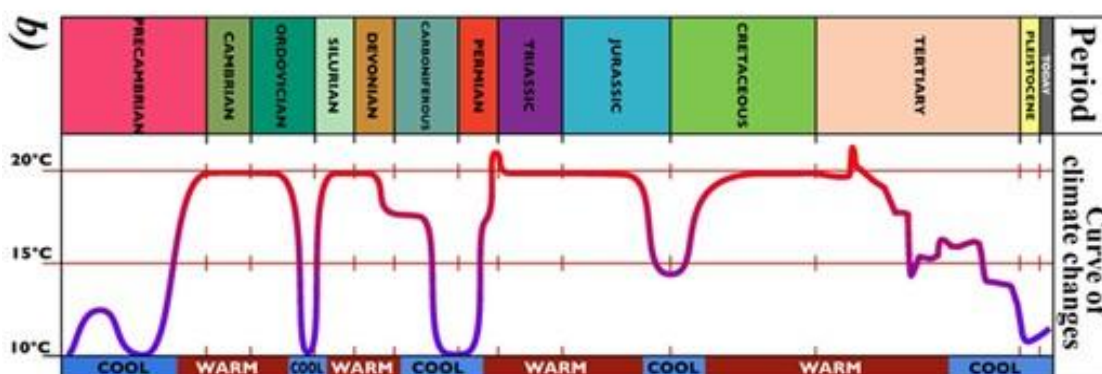
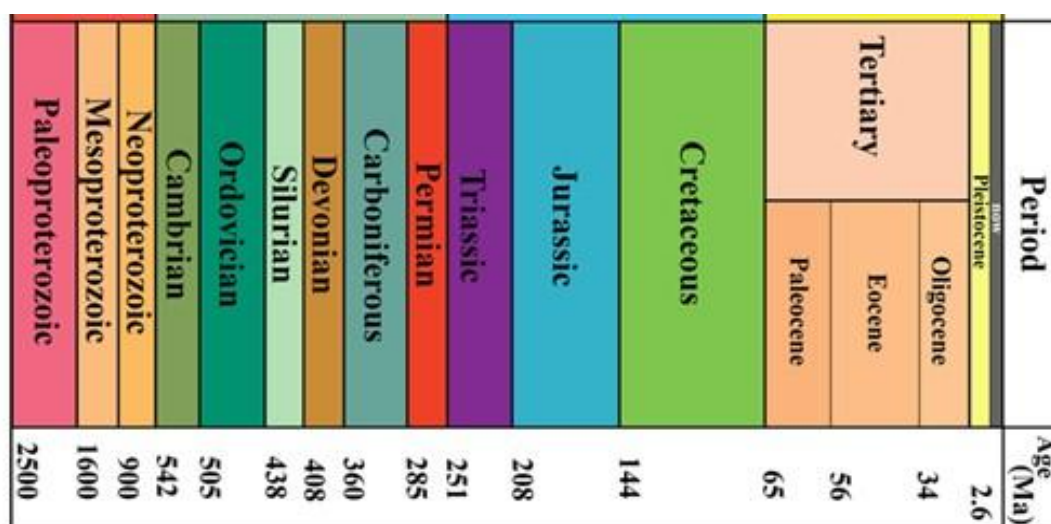


(forrás: [ozonedepletiontheory.info/ImagePages/CO₂-sealevel-glaciations-horizA.html](https://ozonedepletiontheory.info/ImagePages/CO2-sealevel-glaciations-horizA.html))

A hőmérséklet, a CO₂ és a tengerszint változása az elmúlt 600 millió évszázadban.



(forrás: geol.jex.cz/menu/historicka-geologie/paleozoicum/kambrium)



(forrás: www.researchgate.net/figure/Climates-in-Earths-history-a-International-stratigraphic-chart-v-2013-01-after_fig2_287951086)

A hőmérséklet változása a prekambriumtól napjainkig.



(illusztráció forrása: Science Photo Library, <https://earthsky.org/earth/ocean-acidification-drove-earths-largest-mass-extinction>, Fotó: Chris Buttler)

Szárazföldi növényzetről ekkor még nem beszélhetünk, a szárazföldek ebben az időben még kopaszok voltak, sivatagosak, vagy agyagos talajúak.

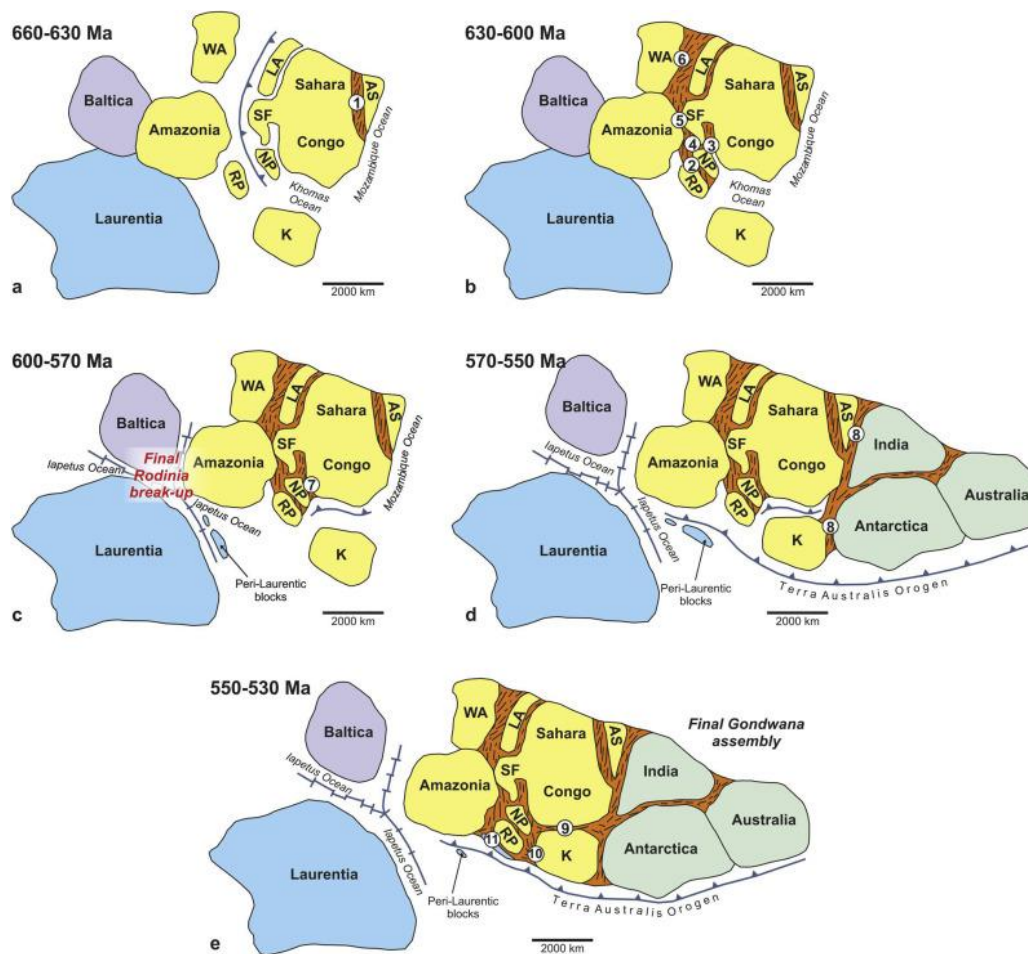


(illusztráció forrása: https://hu.123rf.com/photo_115621911_stock-illustration-titan-largest-moon-of-saturn-with-atmosphere-surface-landscape-of-titan-evaporating-the-hydrocarbon-.html)

A kambrium-ordovícium határán (~488 millió éve) egy tömegkihalás kitörölte a pörgekarúak és a conodonták egy részét és drasztikusan csökkentette a trilobita fajok számát..

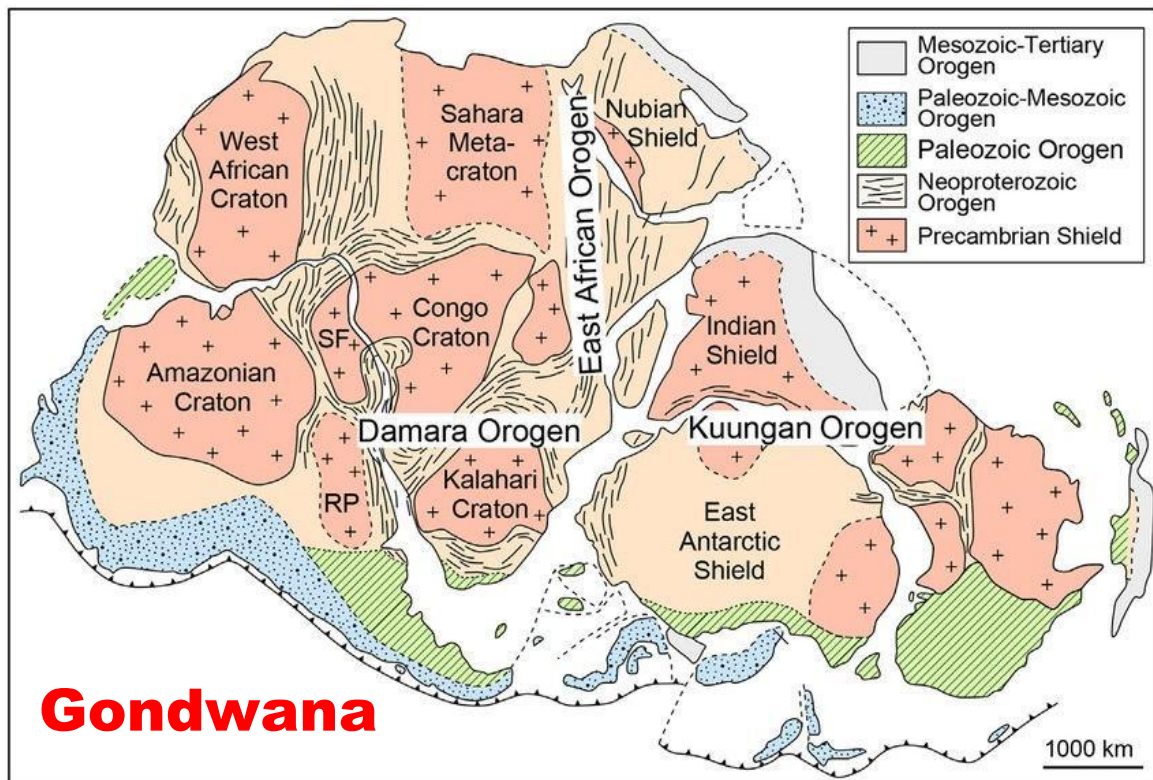
Gondwana ~510–180 millió évvel ezelőtt formálódott, ősi szuperkontinens, amely magába foglalta a déli félteke mai kontinenseit és szigeteit, beleértve az Antarktisz, Dél-Amerikát, Afrikát, Madagaszkárt, Ausztráliát, Új-Guineát, Új-Zélandot, és a mai északi féltekéről az Arab-félszigetet és Indiát.

A későbbiekben a Gondwanához más szárazföldi lemezek is csatlakoztak, mint a mai Észak-Amerika jó részének tömbje (a Kanadai pajzs vagy Laurentia), Európa egy része (a Baltica) és Szibéria, és így a perm idősakra kialakult a Pangea szuperkontinens.



(forrás: Sebastián Orioloa, Pedro Oyhantçabalb, Klaus Wemmera, Siegfried Siegesmunda: Contemporaneous assembly of Western Gondwana and final Rodinia break-up: Implications for the supercontinent cycle, <https://doi.org/10.1016/j.jgsf.2017.01.009>, és www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987117300294)

Gondwana korábbi rekonstrukciók módosításával a fő kéregblokkok szematikus tektonikus és paleogeográfiai fejlődése (WA: Nyugat-Afrika, RP: Rio de la Plata, K: Kalahari, NP: Nico Pérez, SF: São Francisco, LA: LATEA, AS: Arab-Núbia pajzs) .

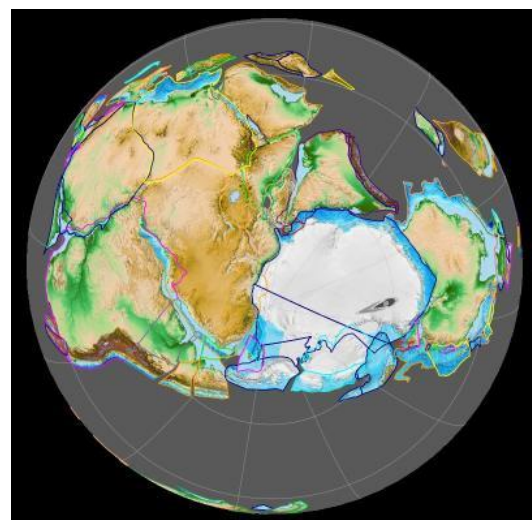


(forrás: Guochun Zhao, Yuejun Wang, Baochun Huang, Show all 7 authors Shan Yu: Geological reconstructions of the East Asian blocks: From the breakup of Rodinia to the assembly of Pangea, Earth-Science Reviews, DOI: 10.1016/j.earscirev.2018.10.003, www.researchgate.net/publication/328123762_Geological_reconstructions_of_the_East_Asian_blocks_From_the_breakup_of_Rodinia_to_the_assembly_of_Pangea/download)

Gondwana formálódása, amely megmutatják a Kelet-Afrika, a Damara és a Kuungan orogének térbeli eloszlását (módosítva Gray és mtsai., 2008 után).

A késő paleozoikum idején Gondwana délen csaknem a Déli-sarktól északon az Egyenlítőig terjedt. Az éghajlat csaknem az egész szuperkontinensen enyhe volt. A mezozoikumban a bolygó átlagos hőmérséklete magasabb volt, mint ma. A Gondwanán sok-sok millió éven keresztül nagyon gazdag flóra és fauna virágzott. A karbon és a perm idején azonban eljegesedés történhetett.

(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Gondwana)



Avalonia mikrokontinens ~480-470 millió évvel ezelőtt, a legkorábbi ordoviciumban azokat a földtöredékeket foglalta magában, amelyekből Kelet-Új-Fundland, a Brit-szigetek déli része, Belgium egyes részei, Észak-Franciaország, Új-Skócia, New England, Ibéria és Északnyugat-Afrika alakult ki - szakadt le Gondwanáról és kezdte meg útját Baltika és Laurentia felé. Avalóniát Baltikától a Tornquist-óceán, Laurentiától az Iapetus-óceán választotta el. Baltika, Laurentia és Avalonia a késő ordovicium és a korai szilur időszakok alatt egyesültek a kaledóniai hegységképződéshez vezető kontinentális ütközések során, létrehozva az Euramerika vagy Laurussia nevű kisebb szuperkontinentet, egyúttal bezárva a Tornquist- és az Iapetus-óceánt. Paleomágneses és állattani tanulmányok arra utalnak, hogy a Baltika és Avalónia közötti ütközés megelőzte a Laurentia és Avalónia közöttit. Mindeközben Gondwana lassan a Déli-sark felé sodródott. Ez volt Pangea kialakulásának első lépése.



(en.wikipedia.org/wiki/Avalonia)

Avalonia

Pangea kialakulásának második lépése Gondwana és Euramerika összeütközése volt.

A szilur időszakban Dél-Európa leszakadt Gondwanáról és elkezdett Euramerika felé mozogni az újonnan alakult Rheic-óceánon keresztül, majd összeütközött Baltika déli peremével a devon időszakban, bár az utóbbi mikrokontinens egy víz alatti lemez volt ekkortájt. Az Iapetus-óceán testvér óceánja, a Hanti-óceán összezsugorodott, amint egy Szibériáról leszakadt szigetív összeütközött Kelet-Baltikával (amely már Euramerika része volt). Emögött a szigetív mögött egy új óceán volt, az Ural-óceán. A késő szilur időszakban Észak- és Dél-Kína leszakadt Gondwanáról és észak felé vette az irányt, egyre szűkítve az útjukba eső a Prototethys-óceánt, egyúttal megnyitva az új Paleotethys-óceánt délen.



(forrás: www.wallpaperflare.com/lava-flood-near-sea-illustration-nature-rocks-volcano-smoke-wallpaper-pbirx)

Illusztrációk, ~500 millió évvel korábbi helyszínek lehetséges képei.

Az ordovicium (485 - 443 millió évvel ezelőtt) időszak tengereinek fenekén nyeles tengerililiomok ringatóztak és ekkorra tehető a puhatestűek törzsébe tartozó lábasfejűek megjelenése.



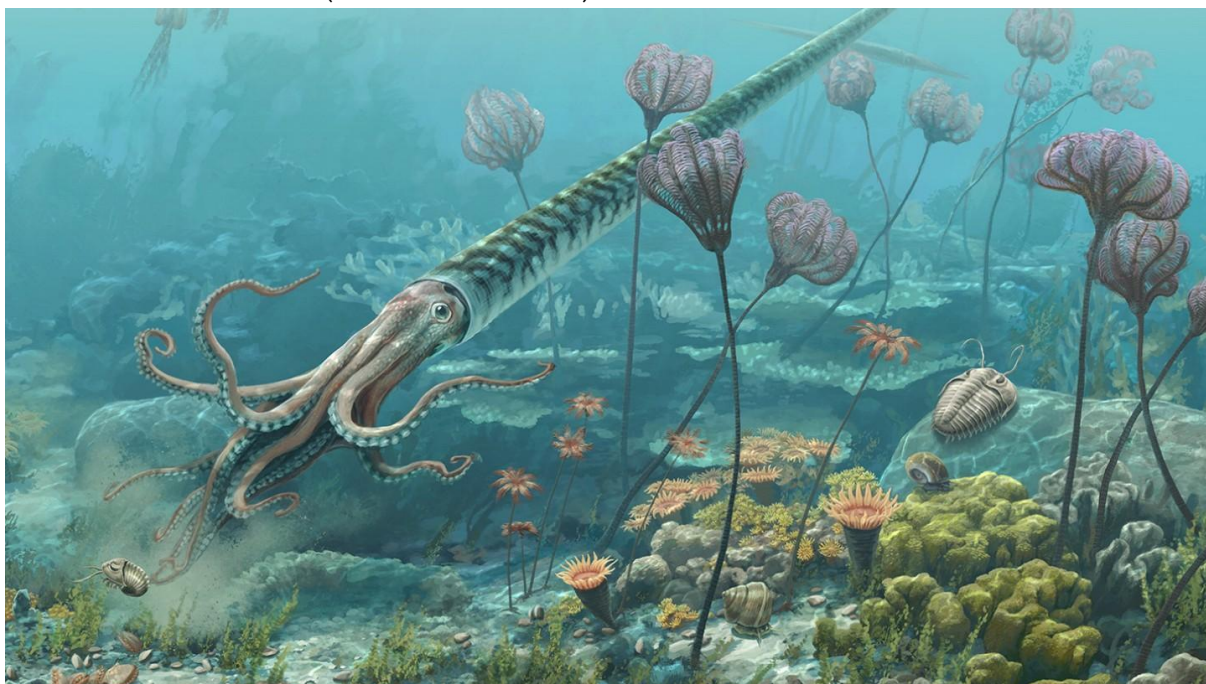
Az ordoviciumi tengerekben feltűnt egy olyan puhatestű (Mollusca) csoport, amely kamrák építésével el tudott szakadni a tengerfenéktől, és lebegni, úszkálni tudott a víztömegben.

Kamrázott házaik alakja lehetett megnyúlt bot (Orthoceras), egy síkban félig vagy lazán felcsavart, végül a mai Nautilus-hoz hasonlóan egy síkban szorosan felcsavart spirál. Az állat az utolsó, legnagyobb kamrában lakott, a többi a levegőtől alig eltérő összetételű gáz töltötte ki. Az ordovicium után a Nautilus-félék diverzitása a „taxonszáma” (taxon az élőlények egy csoportja, ha annak tagjai kládot alkotnak, tehát

monofiletikusak), erősen csökkent, a csoport hanyatlani kezdett.

(archive.aramcoworld.com/issue/200902/morocco.s.trilobite.economy.htm)

Orthoceras fosszília (60 centiméteres)



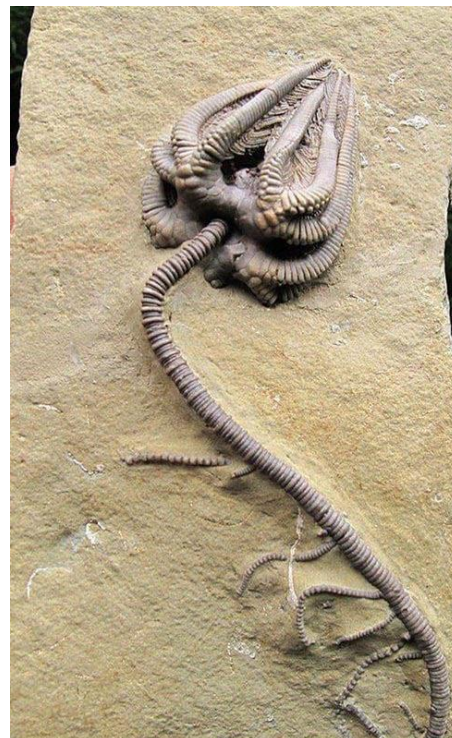
(Forrás: www.behance.net/gallery/71643267/Quarry-Hill-Nature-Center-Ordovician-Minnesota-Mural)

Az ordovíciumra is az élőlények erőteljes adaptív radiációja (alkalmazkodó szétterjedés) volt jellemző. A tengeri nemzetségek száma négyszeresére emelkedett, ami a fanerozoikum ismert teljes tengeri állatvilágának 12%-át jelenti.

A zöldmoszatok az ordovíciumban, illetve már korábban, a késő kambriumban (de lehet, hogy még régebben) elterjedtek. Az első szárazföldi növények a májmohákhoz hasonló apró nem edényes növények voltak. Az első szárazföldi gombák közt lehettek a Glomerales rend arbuszkuláris mikorhiza gombái, amelyek kulcsszerepet tölthettek be a szárazföld benövénnyesedésében.

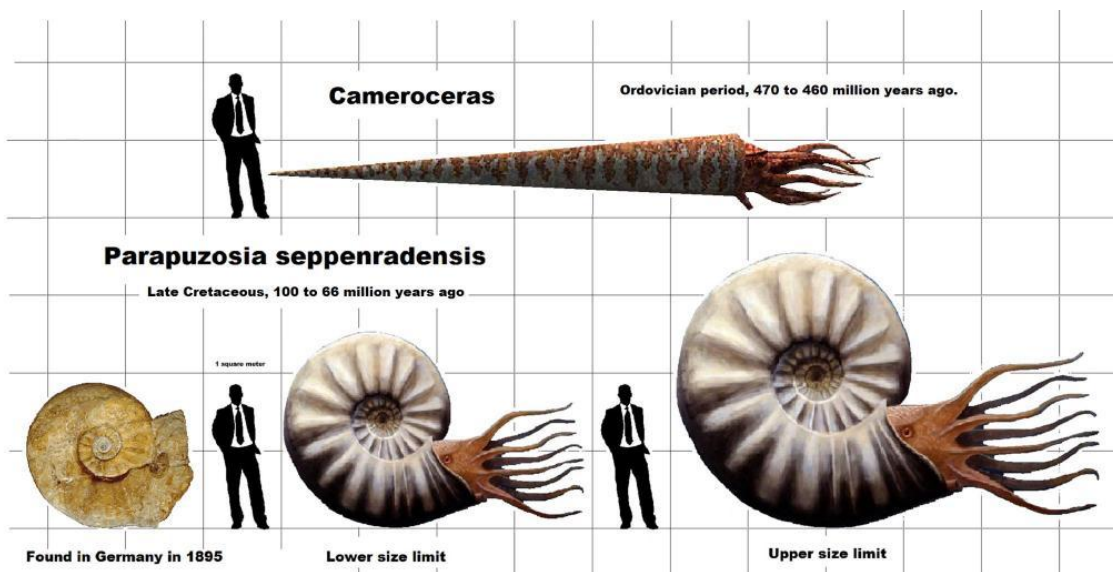


(illusztráció forrása: pikabu.ru/story/ordovik_temnaya_storona_4832216)
 Deanaspis goldfussi,

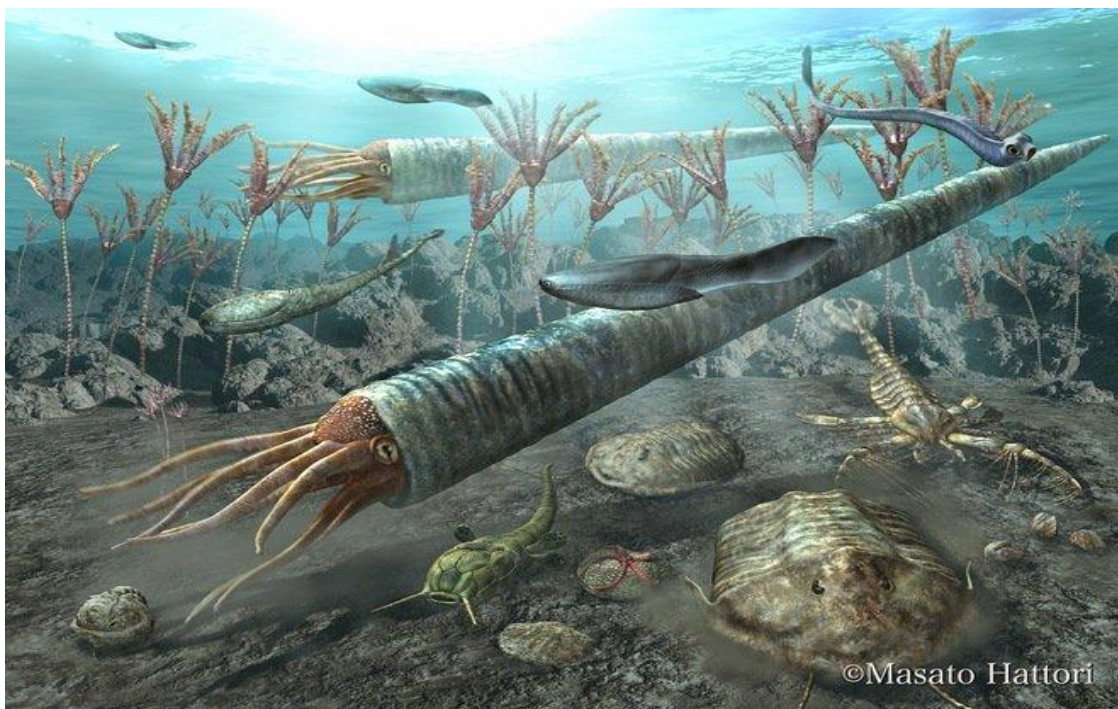


(bethzaiken.com/quarry-hill-nature-center-ordovician-minnesota-mural)

A tengeri liliomok (Crinoidea) vagy más néven „krinoidok” az óceánok legősibb élőlényei közé tartoznak. Ezt, a tüskésbőrűek törzsébe (Echinodermata) tartozó csoportot méltán tartják élő fossziliáknak („élő kővületek”), mivel legkorábbi képviselőik, a földtörténeti őkorban, a paleozoikumban jelentek meg mintegy 480 millió éve. A tengeri liliomok a szintén a tüskésbőrűek közé tartozó állatok, a tengeri csillagok, a tengeri sünök, valamint a tengeri uborkák rokonai, és többnyire a tenger aljzatához rögzülve élnek. Az új vizsgálatok szerint a legkorábban ismert tüskésbőrűek között találhatunk akár 515 millió éveset is.



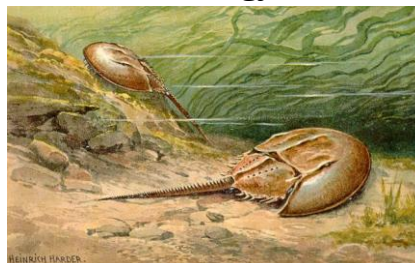
(forrás: gramho.com/explore-hashtag/ordovician)



(forrás: Masato Hattori, pbs.twimg.com/media/DWWOso6VAAA5AQw.jpg, twitter.com/iamsciart/status/965334894762061824)

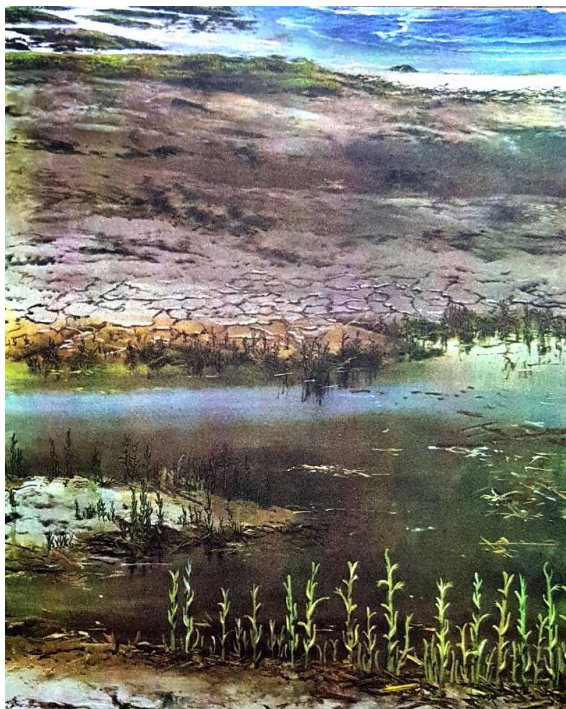


Az ordoviciumi időszak közepén fejlődött az *Astraspis* az első páncélos, állkapocs nélküli halak közül az egyik.



Patkórákok valószínűleg az első lények között voltak, akik a föld felfedezését kezdték.

Ammonitesz fosszília. (forrás: creation.com/mary-anning-fossil-hunter)
(forrás: earthlyuniverse.com/ordovician-earth-colonising-barren-land/)



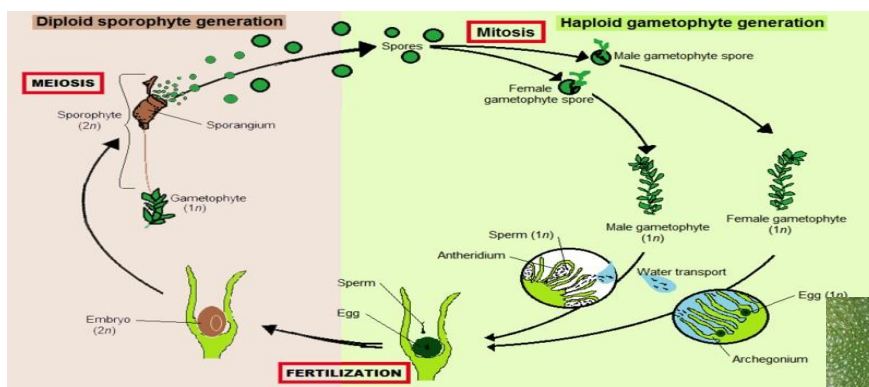
illusztráció: Zdenek Burian

Ezek a növényeket (Plantae) a bryofiták voltak, amelyek magukban foglalják a lombosmohákat (Bryophyta), a becősmohákat vagy szarvasmohákat (Anthocerotophyta) és a májmohákat (Marchantiophyta). (hu.mort-sure.com/blog/difference-between-liverworts-and-mosses/)



Lombosmoha (Bryophyta)

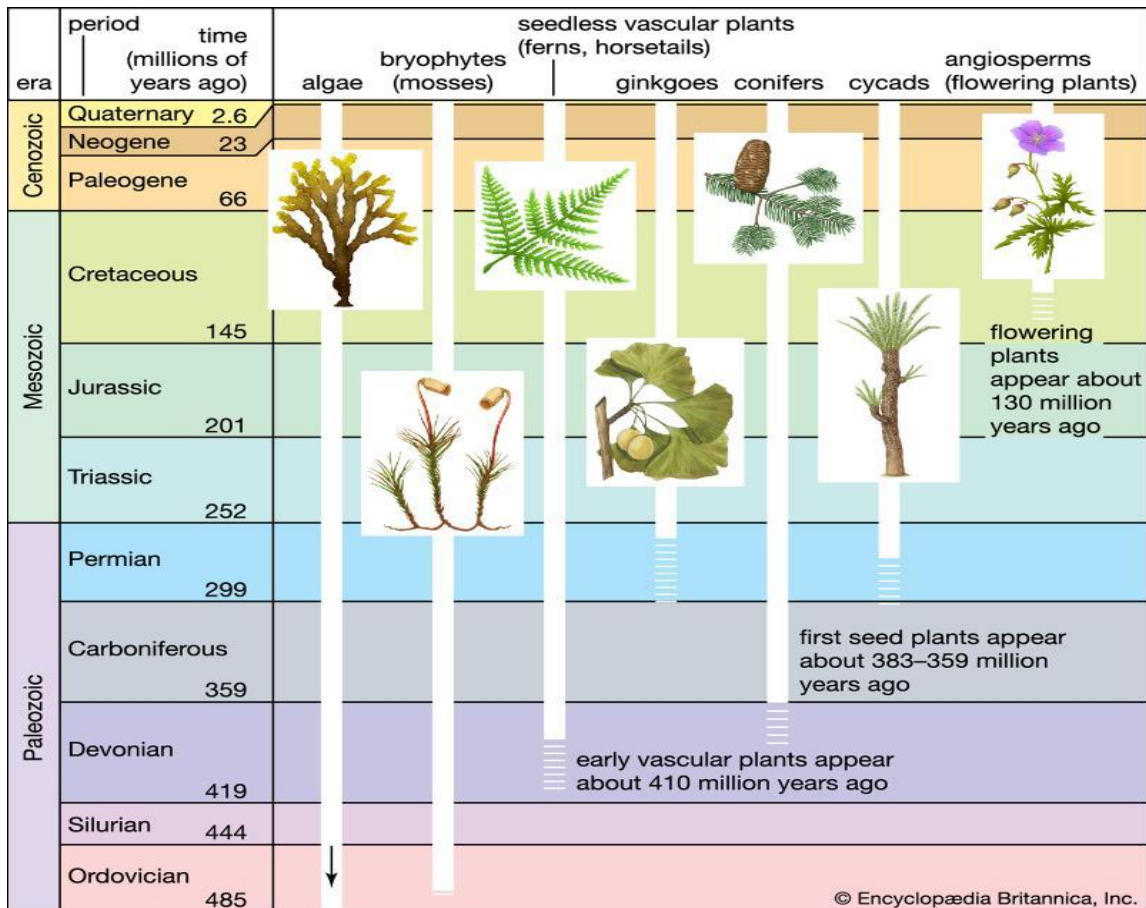
Az ivartalan szaporodás egyik jellemző formája spórákkal történik. A valódi spórák meiózissal létrejövő haploid (egyetlen kromoszóma-készletet tartalmaz) szaporító sejtek. Spóratartókban, diploid spóraanyasejtekből keletkeznek. A mohák spórájából haploid előtelep, majd mohanövény alakul ki, amelyen ivarszervek jelennek meg. Az ivarszervekben számtartó sejtosztódással (mitózissal) alakulnak ki az ivarsejtek. A víz segítségével ezek az ivarszervek diploid sporophyte-ként összekapcsolódnak, az egyesülését követően a zigótából spóratartó formálódik, amelynek sejtjei számfelező sejtosztódással (meiózis) ismét spórákat képeznek. Az egyesülésüket követően, már diploid harasztnövényt hoznak létre.



(pediaa.com/why-bryophytes-are-called-amphibians-of-plant-kingdom/)

A Bryophytes és egyéb haploid növények szaporodásának sematikus ábrája, valamint

Marchantiophyta fényképe.



(forrás: cdn.britannica.com/59/6559-050-D6D277AA/events-plant-evolution.jpg)

Az algák és a mohák is „élő kőületek” csoportjába tartoznak.



Felső és alsó felületen kemény kagylós Brachiopoda, Cincinetina meeki fosszília. (Ordovíciumi időszak, Ohio).



(www.secretsofuniverse.in/history-of-life-6-ordovician-period/, és species.wikimedia.org/wiki/Brachiopoda)
Ordovíciumi időszak tengeri dioráma kép (jobb alsó sarokban Brachiopodák).



(forrás: www.wallpaperflare.com/lava-flood-near-sea-illustration-nature-rocks-volcano-smoke-wallpaper-pbirx)

Illusztráció, egy ~500 millió évvel korábbi helyszín lehetséges képe.

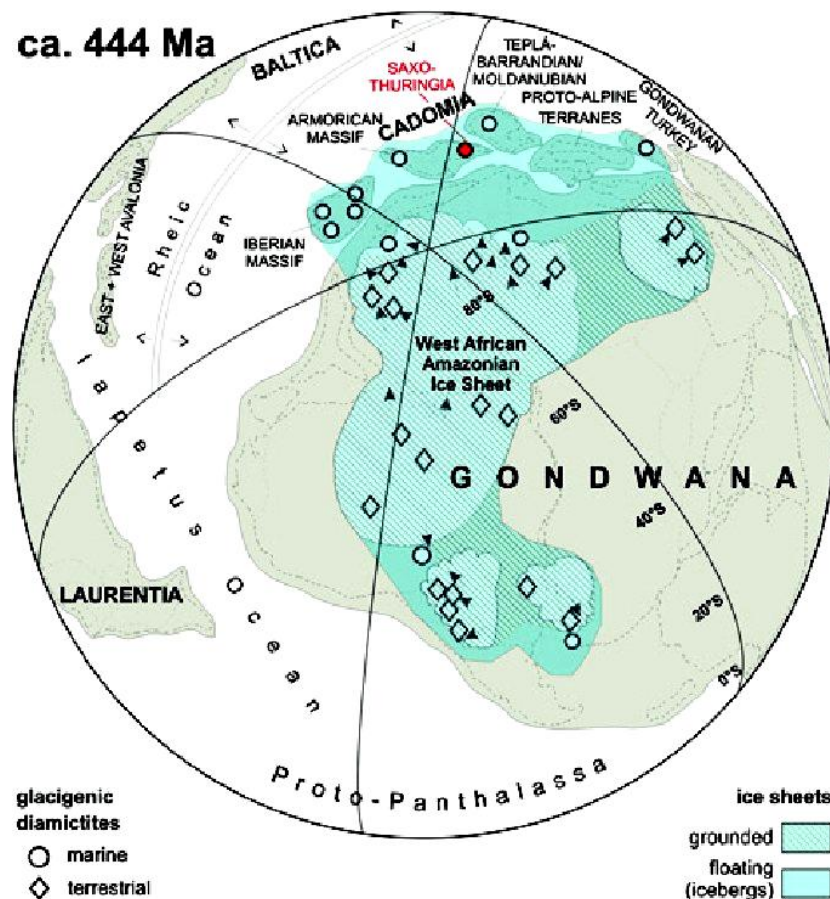


(forrás: <https://www.timetoast.com/timelines/ordovician-period>)
Ordovíciumi időszak tengeri dioráma kép.



(illusztráció: mobimg.b-cdn.net/lwallpaper_img/volcano/real/1_volcano.jpg)

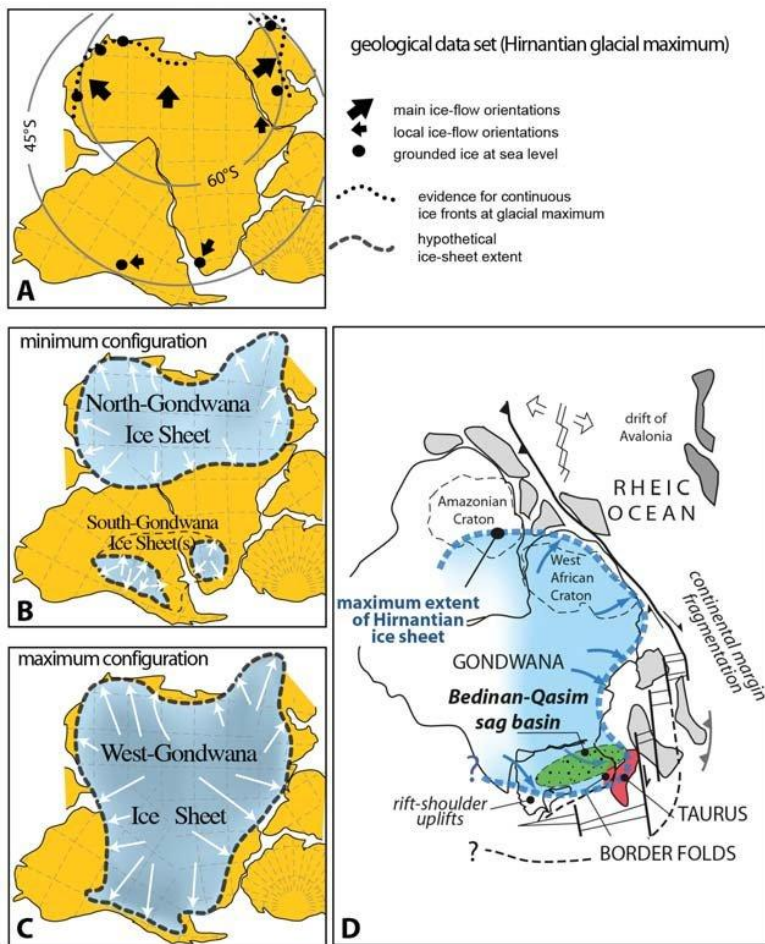
Az ordovíciumban a déli szárazföldek egyetlen nagy kontinensben, a Gondwanában egyesültek. A Gondwana az időszak elején az egyenlítőnél helyezkedett el, később azonban a Déli-sark felé sodródott. A kora ordovíciumban Laurentia, Szibéria és Baltica különálló kontinensek voltak. Az ordovíciumban zajlott, de már a kambriumban kezdődött a takoni-hegységképződés.



https://www.researchgate.net/figure/The-Sahara-glaciation-The-expansion-of-the-Late-Ordovician-Hirnantian-or-Ashgill_fig2_259674049

Az ordovícium elején az éghajlat meleg volt. A későbbiekben azonban a lehülés gleccsereket formált a Föld sarkain.

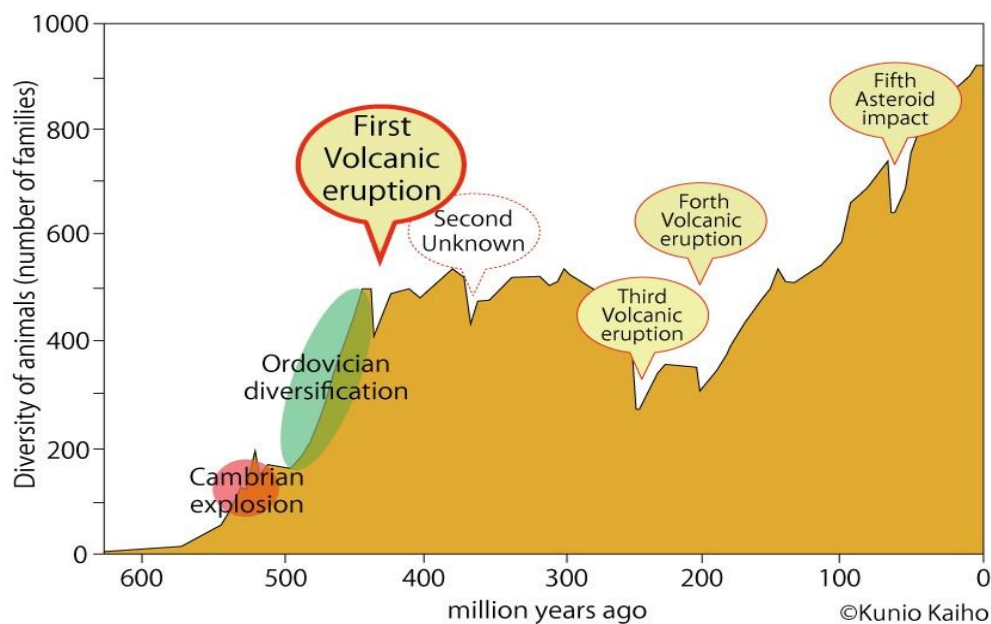
Az ordovícium végén elkezdődött lehülés a szilur elejére egy újabb, immár a harmadik nagyobb eljegesedést váltotta ki a Földön. Az időszakból származó glaciális üledékeket főként Dél-Amerikában találtak. A jég visszahúzódása a szilur közepe táján fejeződött be. Lényeges változás történt a légkör összetételében. A szilur végére a légkör oxigéntartalma annyira megnövekedett, hogy az abból képződő ózonréteg a felszínre érkező ibolyántúli sugárzást minimálisra csökkenthette. Ezzel megnyílt a lehetőség a növények szárazföldi elterjedésére.



M. Cemal Göncüoğlu
 Middle East Technical University | METU ·
 Department of Geological Engineering Professor (E),
 Paleozoic of Eastern Taurides- GUIDEBOOK,

www.researchgate.net/figure/The-extent-of-the-Late-Ordovician-glaciation-from-Ghienne-et-al-2007a-Guttierez-Marco_fig41_284158290

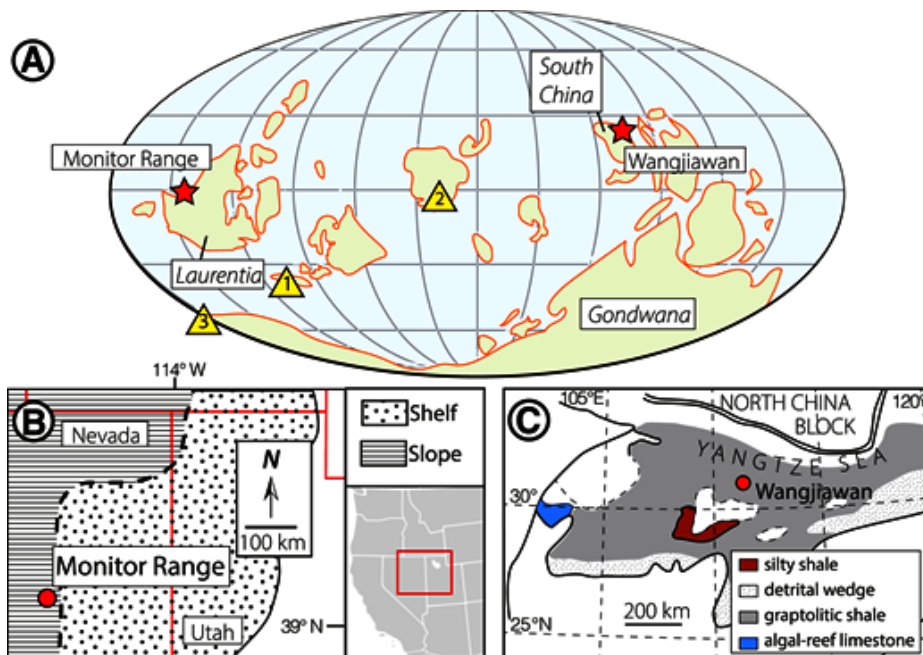
A késő ordoviciumi jegesedésének kiterjedése (Ghienne et al., 2007a; Gutiérrez-Marco et al., 2010).



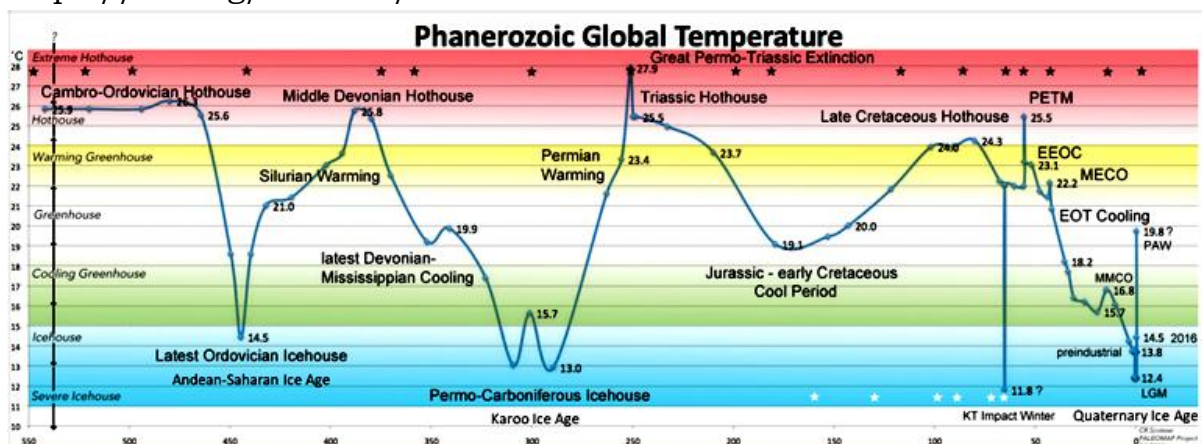
(phys.org/news/2017-05-large-volcanic-eruption-mass-extinction.html)

Az élet első tömeges kihalásának oka Földön egy nagy vulkáni kitörés lehet az Egyesült Államok és Japán kutatói szerint. Az új tanulmány határozottan arra utal, hogy a vulkáni aktivitás okozta az élővilág első tömeges pusztulását az ordovicium végén.

Dr. David S. Jones, az Amherst College munkatársa és a Tohoku egyetem professzora Kunio Kaiho vezette csoport megvizsgálta az első tömeges pusztulás lehetséges kiváltó okait. Két helyről - Észak-Amerikából és Dél-Kínából - üledékes kőmintákat vettek, és elemezték higanytartalmuk (Hg). Azt találták, hogy a Hg-dúsulás egybeesik a tömeges kihalással mindkét területen. Úgy vélik, hogy ez a nagy vulkánkitörések eredménye, mivel a Hg-anomáliát megfigyelték más, azonosított vulkáni rétegekben is. Hatalmas vulkánkitörések szulfát-aeroszolatok eredményezhetnek a sztratoszférában. A szulfát aeroszolatok erős, fényvisszaverő aeroszolatok, és globális hűtést okoznak.



David S. Jones; Anna M. Martini; David A. Fike; Kunio Kaiho, A volcanic trigger for the Late Ordovician mass extinction? Mercury data from south China and Laurentia, *Geology* (2017) 45 (7): 631–634.
<https://doi.org/10.1130/G38940.1>



(forrás: andymappetrophysicist.files.wordpress.com/2020/01/figure-1.jpg.png?w=776)

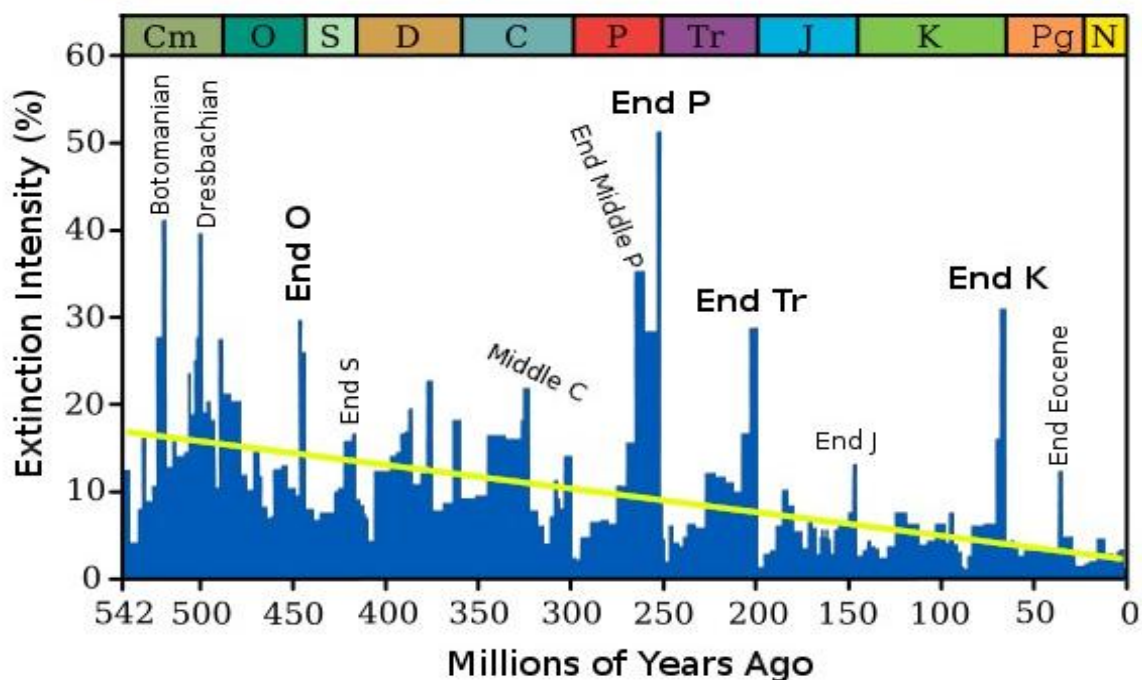


(forrás: www.flickr.com/photos/stuckincustoms/6798160268)



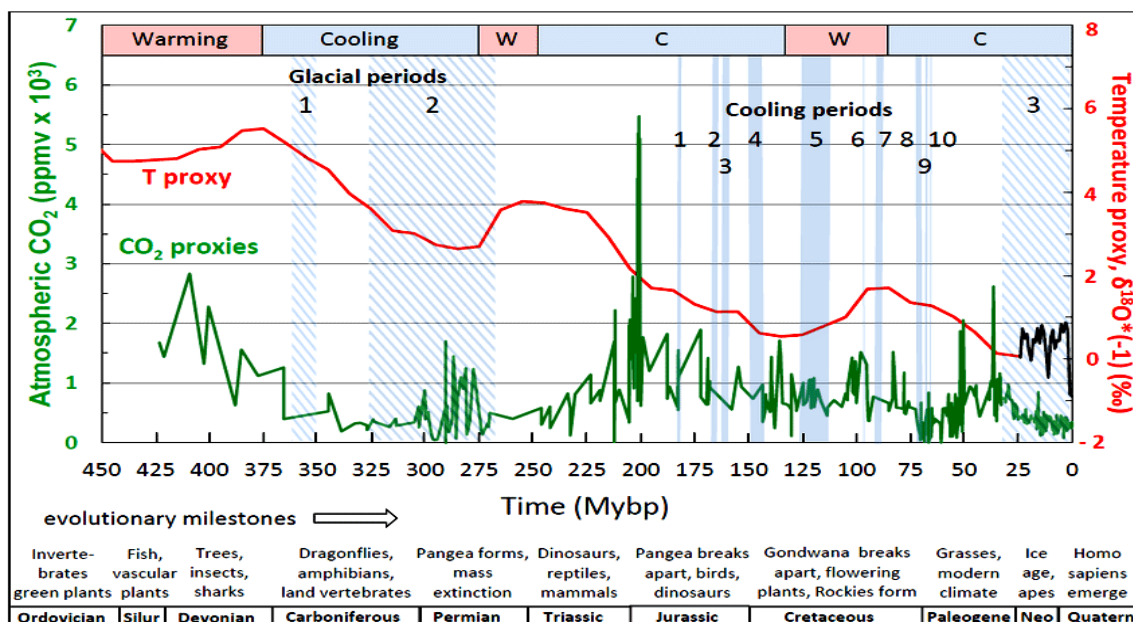
(www.theguardian.com/science/2012/feb/01/first-land-plants-ice-ages)

Extinction Intensity on Marine Genus Biodiversity

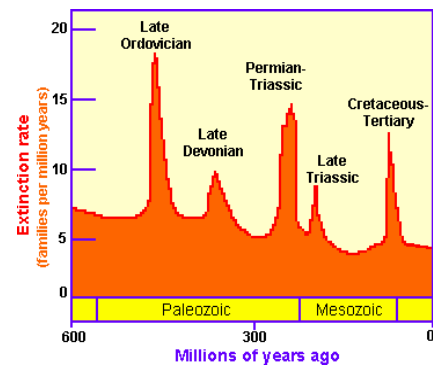
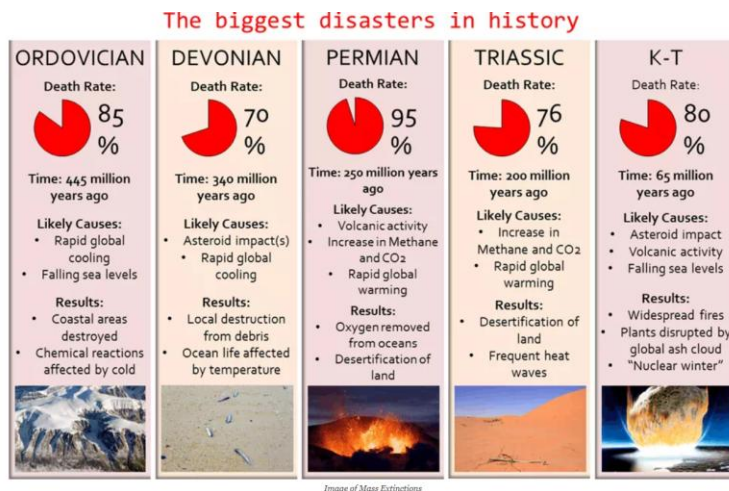


A tengeri élővilág pusztulásának intenzitása az egyes időszakokban. A kék diagram a kihalt állati nemek százalékos arányát (nem abszolút értékét) jeleníti meg az évmilliók függvényében. A százalékos értékek csak a fosszilizálódott nemekre vonatkoznak, nem az összesre. Az ábrán külön fel van tüntetve az „Öt Nagy” kihalási esemény.

(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/Ordovícium–szilur_kihalási_esemény, és en.wikipedia.org/wiki/Extinction_event)



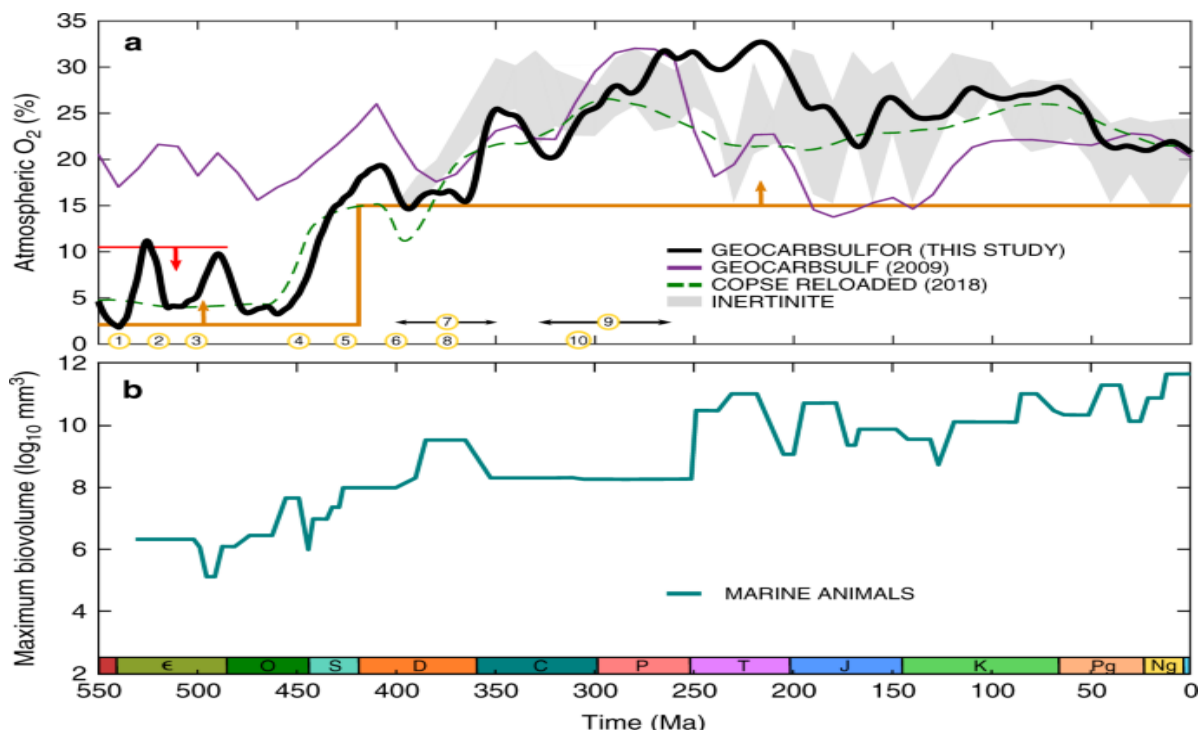
(forrás: www.researchgate.net/figure/Temperature-T-and-atmospheric-carbon-dioxide-CO2-concentration-proxies-during-the_fig4_320123470, és www.researchgate.net/publication/320123470_The_Relationship_between_Atmospheric_Carbon_Dioxide_Concentration_and_Global_Temperature_for_the_Last_425_Million_Years)



(adatok D.M. Raup és J. J. Sepkoski munkájából)

(forrás: www.observerbd.com/news.php?id=259224 és www.enchantedlearning.com/subjects/dinosaurs/extinction/.)

A ~444 millió éve történt ordovicium–szilur kihalási eseményt, az öt legnagyobb kihalási hullám közt második helyre sorolták a az elpusztult nemek aránya alapján. A fajok 85 százaléka tűnt el, amelynek hátterében egy hosszan elnyúló jégkorszak – a fanerozoikum talán legnagyobb eljegesedése – volt a Hirnanti korszakban (445,2- 443,8 Ma, az ordovicium földtörténeti időszak, utolsó szakasza), amely véget vetett az ordoviciumra egyébként jellemző melegházi körülményeknek.

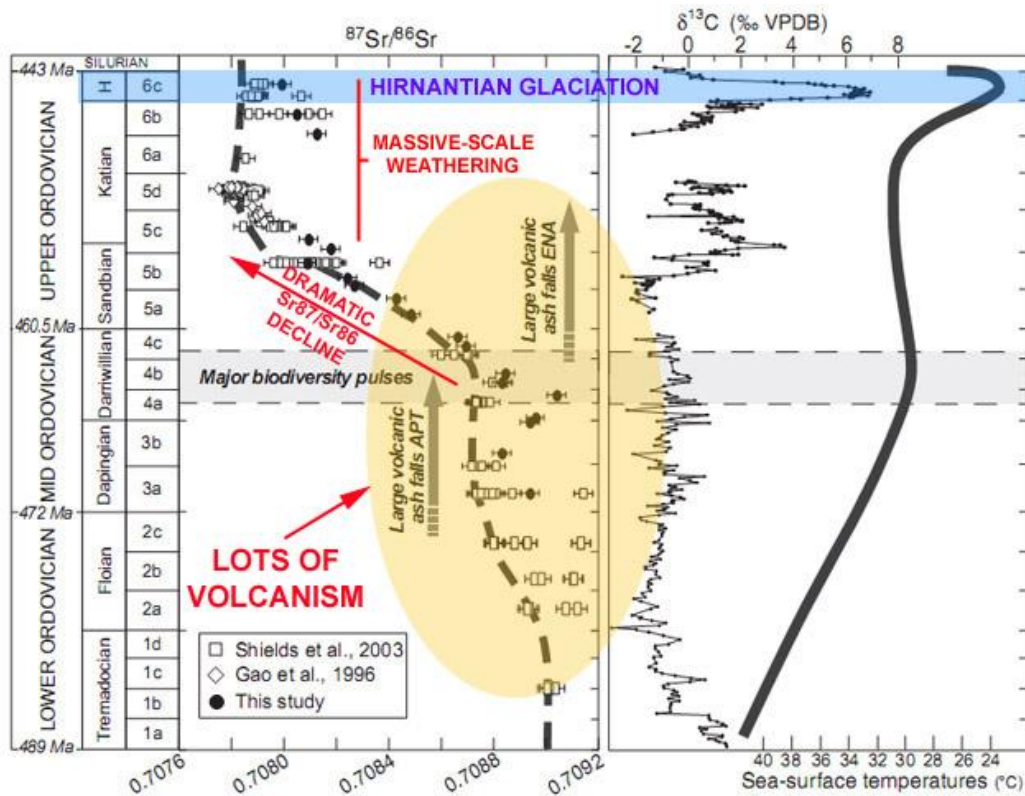


(forrás: www.nature.com/articles/s41467-018-06383-y/briefing/signup/)

A légköri összetétel változás és a globális kihalási események követhetők nyomon a Precambrium végétől a jelenig.

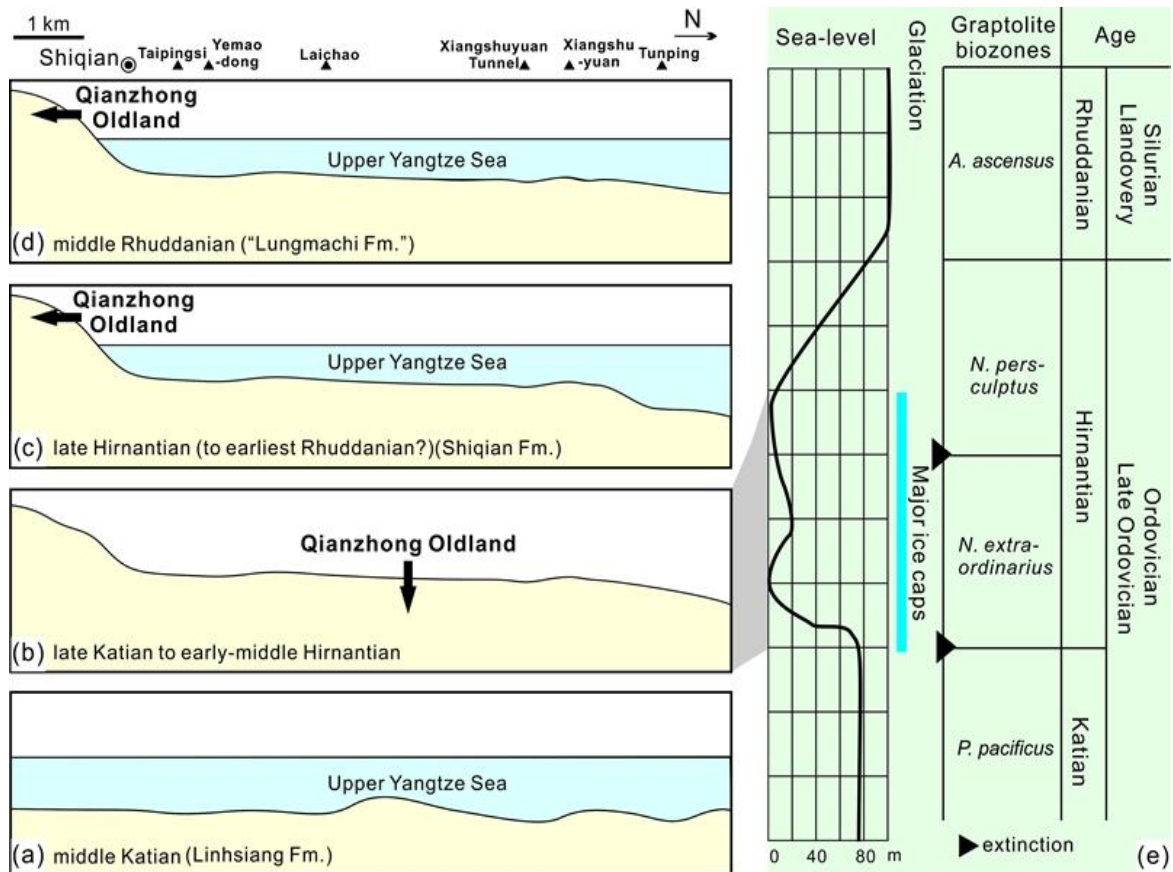


(illusztráció forrása: maininfo.news/travel/it-s-one-of-the-largest-non-polar-glaciers-on-earth)



(forrás: www.geologywales.co.uk/storms/hirnantian.htm, és Seth A. Young, Matthew R. Saltzman, Kenneth A. Foland, Jeff S. Linder and Lee R. Kump: A major drop in seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ during the Middle Ordovician (Darriwilian): Links to volcanism and climate? *Geology* 2009;37;951-954, doi: 10.1130/G30152A.1)

A grafikonon a késő ordóvíciumi időszak a legfelső részen látható. A szén 13-ban (^{13}C) hirtelen növekedés, a tenger felszíni hőmérsékletében pedig hirtelen csökkenés mutatkozik.



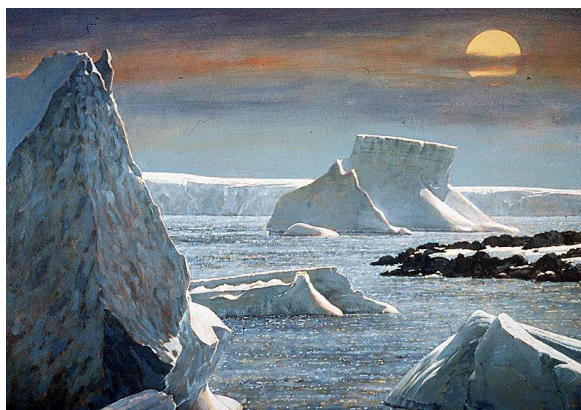
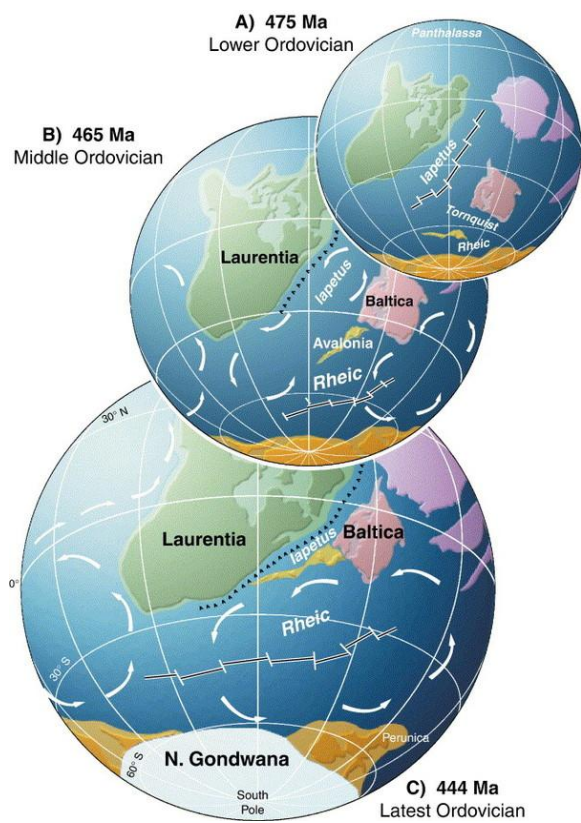
(forrás: Wang Guangxu, Zhan Renbin, Percival Ian G., Huang Bing, Li Yue, Wu Rongchang. 2015. Late Hirnantian (latest Ordovician) carbonate rocks and shelly fossils in Shiqian, northeastern Guizhou, Southwest China. *Newsletters on Stratigraphy*, 48(3): 241-252. DOI: 10.1127/nos/2015/0062, https://english.nigpas.cas.cn/rh/rp/201508/t20150810_151241.html)

Az ábra mutatja a Shiqian terület paleogeográfiai változását az ordovicium–szilur átmenet idején, és ennek összefüggését a „Hirnant-i jegesedésel” és a kapcsolódó tengerszint-változással. (módosítva: Brenchley et al. 2006).

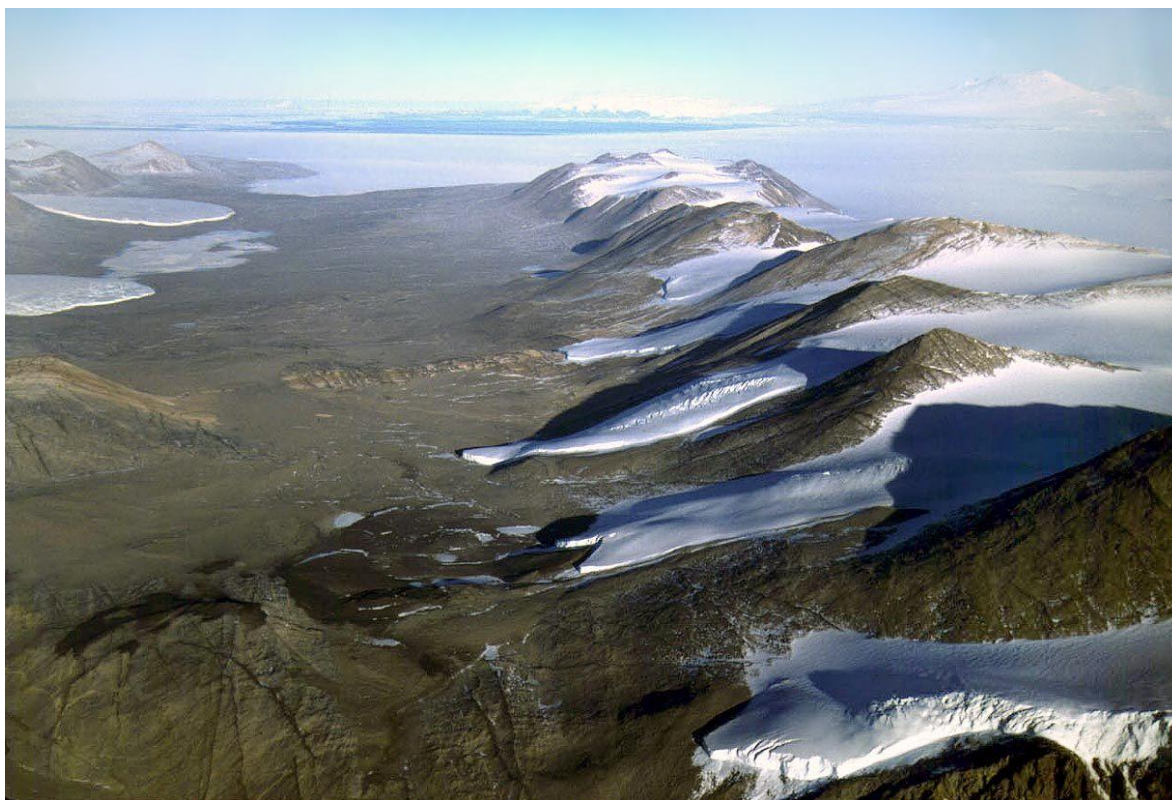
Dél-Kína egy nemzetközileg jelentős régió az ordovicium–szilur átmenetet átfogó bioesemények tanulmányozása szempontjából, Wangjiawan falu közelében ahol a Hirnant-i formáció (földtani rétegsorozat), mészkő és a kapcsolódó üledékes képződmények szolgálnak alapjául a globális határvonal vizsgálatához.

Ezek a formációk az ordovici lelőhelyek tetején helyezkedtek el, és egy olyan állatvilág uralta, amely magában foglalta a brachiopodákat, a trilobitákat és más „kagylós” vagy kemény bevonatú állatokat.

A kialakuló szárazföldi jégborítás hatására a tengerszint 70-100 méterrel lesüllyedt, így sok faj a szárazra került, ráadásul a globális lehűlés következtében a melegkedvelő élőlények nem tudtak hová menekülni a hideg elől.



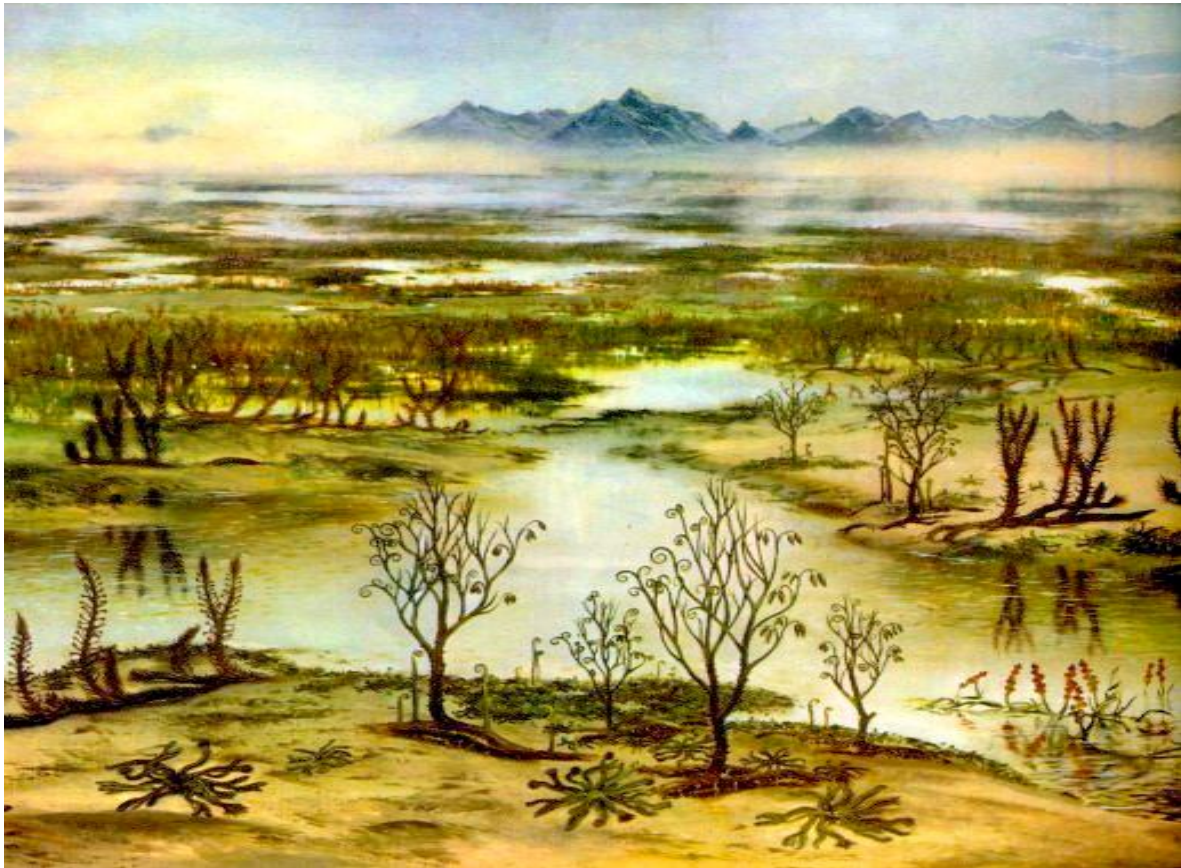
(illusztráció forrása: edu.glogster.com/glog/ordovicium/249fpjxudf0)



(illusztráció forrása: pikabu.ru/story/ordovik_temnaya_storona_4832216)

A szilur (443 - 419 millió évvel ezelőtt) időszak során kiterjedt sekély, meleg tengerek uralták a Földet. A zátonyépítő kőkorallok ekkor képezték az első korallszirteket, amelyek mint újfajta élőhely, elősegítette a rajta megtelepedő élővilág evolúcióját, így a halakét is.

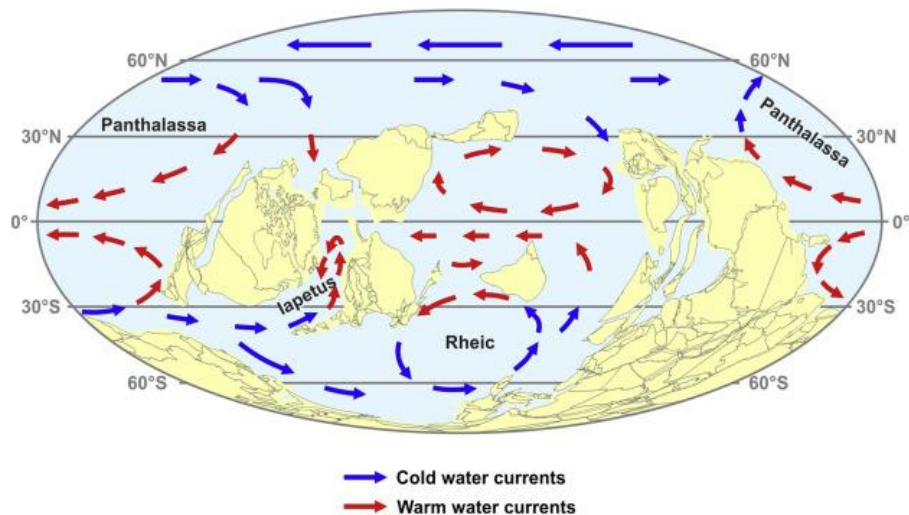
A kambriumban és az ordoviciumban az élet a tengerre korlátozódott. A szárazföldet még nem tudta meghódítani, mert nem volt kellő mennyiségű oxigén a légkörben és nem nyújtott még kellő védelmet az ozonoszféra ernyője sem. A szilur vége felé érte el a levegő oxigéntartalma a mai érték 10%-át. Ebből az időből ismertek a legelső szárazföldi lények: a növények. Az egyes állatcsoportok a szilur folyamán, de valószínűleg még korábban, a tengerből a brakkvízi lagúnák, folyók, tavak mentén kezdtek a kontinens belseje felé hatolni.



(Illusztráció: Zdenek Burian: Élet az ember előtt, Gondolat kiadó 1976.)

A szilur során a Gondwana folytatta lassú vándorlását dél felé, de bizonyíték van arra, hogy a sziluri jégsapkák kevésbé kiterjedtek voltak, mint a késő ordoviciumi jégkorszak idején. A jégsapkák olvadása és gleccserek hozzájárultak a tengerszint emelkedéséhez, Egyéb kontinentális magok és egyéb kontinentális töredékek vándoroltak együtt az egyenlítő közelében. Megkezdtek a második szuperkontinens, az Euramerika létrehozását.

Amikor az ősz-Európa ütközött Észak-Amerikával, az ütközés felgyűrte a parti üledékeket, amelyek a kambrium óta gyűltek össze Észak-Amerika keleti partjánál és Európa nyugati partjánál. Ez az esemény a kaledóniai orogenezis, egy hegyvidék keletkezési hullám, amely a mai New York államtól húzódott és Európát, Grönlandot, valamint Norvégiát összekapcsolta. A szilur végén a tengerszint újra apadt,



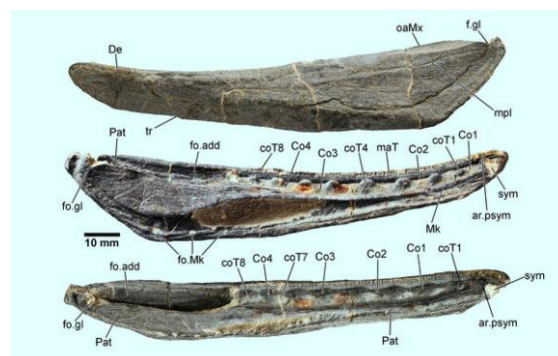
(www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018217301542)



(forrás: prelife.weebly.com/masato-hattori1.html)

A szilur vége felé érte el a levegő oxigéntartalma a mai érték 10%-át. Az egyes állatcsoportok a szilur folyamán, de valószínűleg még korábban, a tengerből a brakkvízi lagúnák, folyók, tavak mentén kezdtek a kontinens belseje felé hatolni.

2013-ban Dr. Min Zhu a gerinces paleontológiai és paleoantropológiai intézetből Kínában és a társszerzők egy fossziliát, az *Entelognathus primordialist* mutattak be, amelynek placoderma-szerű háromrészes állkapcsa volt.



(forrás: Image credit: Brian Choo, www.sci-news.com/paleontology/science-megamastax-amblyodus-silurian-china-01987.html,

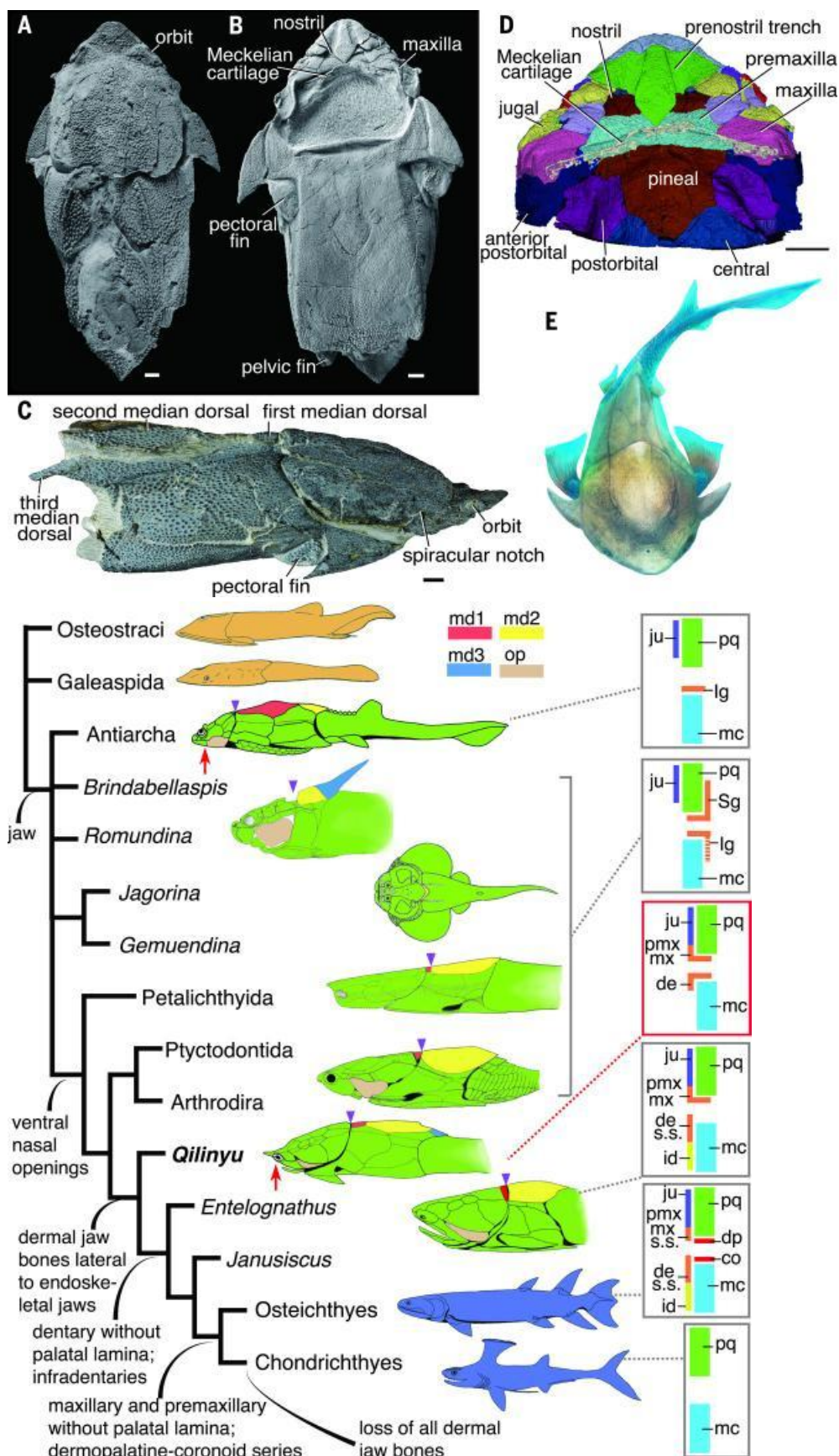
www.researchgate.net/publication/263112780_The_largest_Silurian Vertebrate_and_its_palaeoecological_implications,

Brian Choo et al. 2014. The largest Silurian vertebrate and its palaeoecological implications. *Scientific Reports* 4, article number: 5242; doi: 10.1038/srep05242)

A *Megamastax amblyodus* a galeaspid Dunyu longiforuszt fogyasztja, és .
a *Megamastax amblyodus* fosszilis állkapocs: oldalsó, lingularis és hátsó nézetben.

„Mindig azt hitték, hogy a sziluri halak mind kicsik, mert eddig még nem fedeztek fel kb. 30 cm-nél hosszabb fajok kövületeit. A Qujing városához közeli Yunnan-i helyszínről azonban felfedtünk egy siluriai üledékből származó, állkapcsos halak változatos gyűjteményét, köztük az új *Megamastax*-ot is, amely ragadozó lényegesen nagyobb, mint bármely más ismert gerinces ebből a korból”- magyarázta Dr. Choo, aki: kollégáival együtt beszámolt a felfedezésről a *Scientific Reports* folyóiratban. A *Megamastax amblyodus* egy primitív lebonyujjú hal (*Sarcopterygii*) volt. A paleontológusok szerint legfeljebb 1 m hosszú volt, és 17 cm hosszú állkapcsa volt. A *Megamastax amblyodus* felfedezése megcáfolja a régóta fennálló hitet, hogy a nagy ragadozó halak csak jóval később, a devoni időszakban (410-360 millió évvel ezelőtt) fordultak elő.

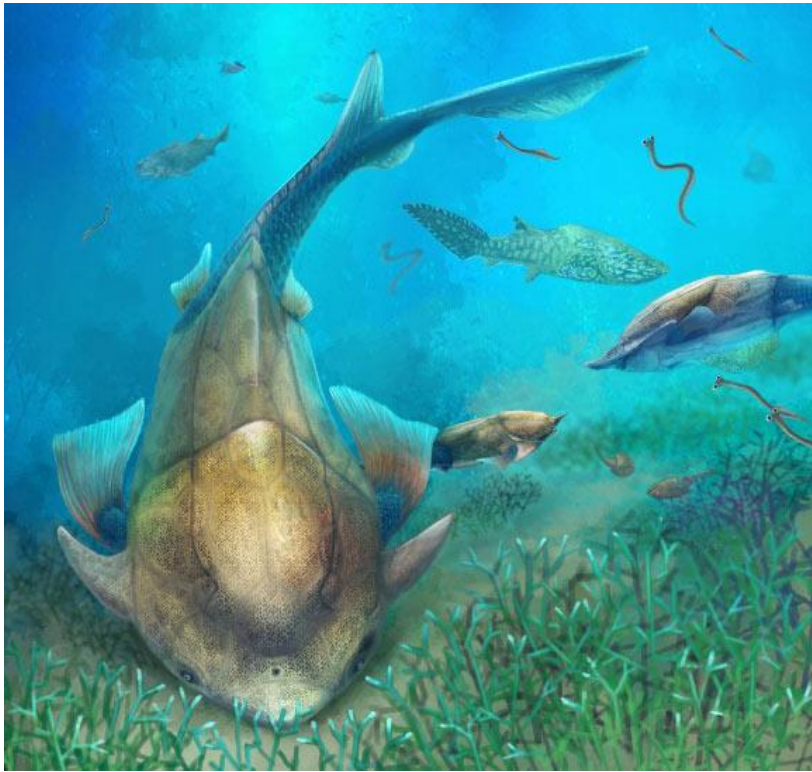
„A felfedezés új vonást ad az ősi légkör megértésében. Mivel a modern nagy halak általában érzékenyebbek a légkör oxigén-szintjére, mint a kisebbek, a nagy sziluri halak nyilvánvaló hiányát használják a Föld légköri történetének néhány modelljében kalibrálására, és az a megállapítás elfogadott, hogy az alacsonyabb oxigénszint korlátozta a test méretét a devona előtt.



(forrás: Min Zhu et al. 2016. A Silurian maxillate placoderm illuminates jaw evolution. *Science* 354 (6310): 334-336; doi: 10.1126/science.aah3764, <https://science.sciencemag.org/content/354/6310/334>)

Azonban az egy méteres halak felfedezése, amely körülbelül 423 millió évvel ezelőtt úszott, megdöntheti az eddigi elképzeléseket”- írta Dr. Choo a publikációban.

Ugyanez a csapat új Qilinyu rostrata nevű fajt fedezett ki a Qujing Kuanti Formációjából, a kínai Yunnanból.



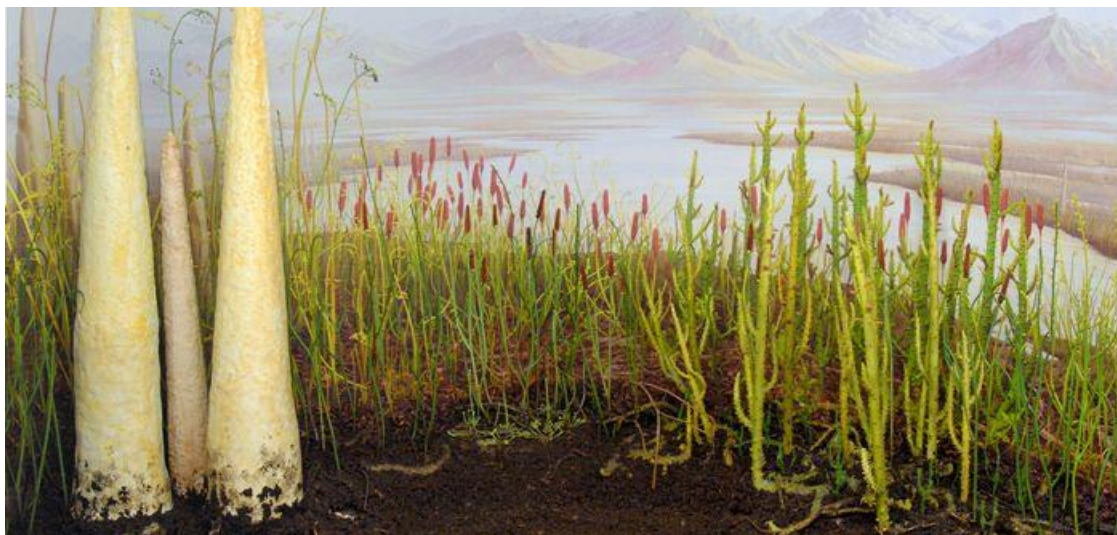
(forrása: Image credit:, Dinghua Yang, www.sci-news.com/paleontology/qilinyu-rostrata-silurian-fish-china-jaw-evolution-04297.html, english.cas.cn/bcas/2017_1/201705/P020170519656441379281.pdf, Min Zhu et al. 2016. A Silurian maxillate placoderm illuminates jaw evolution. *Science* 354 (6310): 334-336; doi: 10.1126/science.aah3764)

Qilinyu életének rekonstrukciója Guiyu-val és Entelognathus-szal a sziluri vizekben.

Egy 423 millió éves kőület felfedezése Kínában rávilágított a tripartite (háromrészes) állkapocs evolúciójára, feltárva az állkapocs evolúciójának korábban ismeretlen szakaszát a placodermsben, a korai halak kihalt csoportjában.

„Az Entelognathus és Qilinyu állkapocsaira nézve láthatjuk, hogy mindkét halban a csontos halak állcsontjainak és a placoderm gnathal lemezek karaktereit egyesítik” - írták a kutatók.

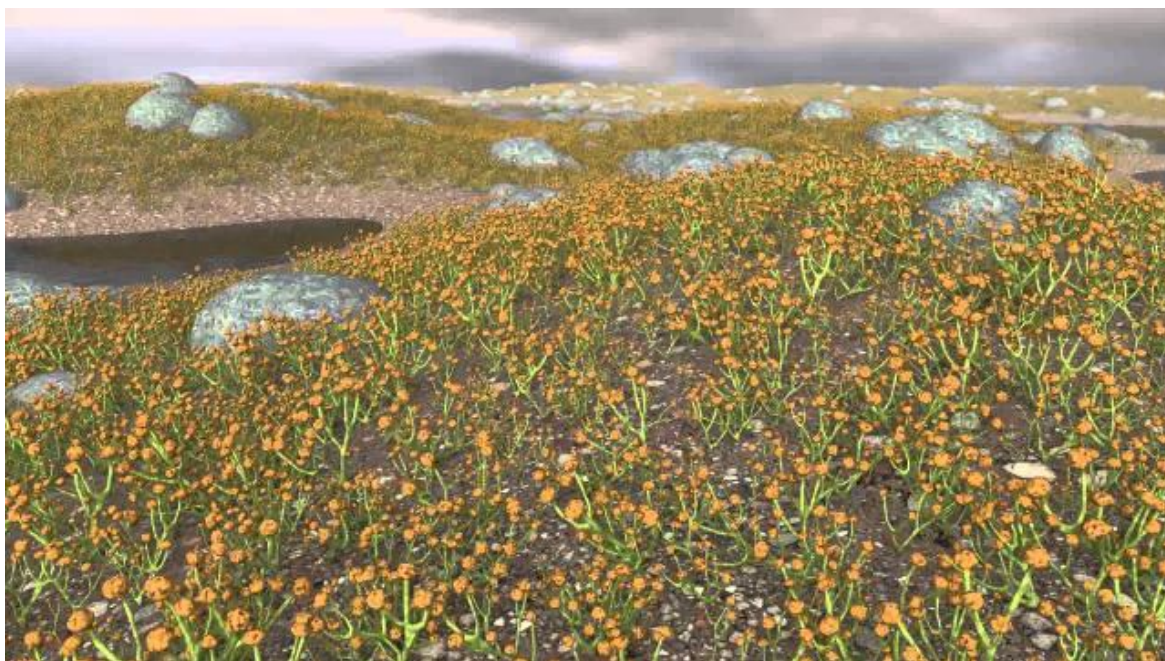
Az Entelognathus és Qilinyu állkapocsaira nézve láthatjuk, hogy mindkét halban a csontos halak állcsontjainak és a placoderm gnathal lemezek karaktereit egyesítik. Úgy tűnik, hogy az emberi anatómia jelentős részei visszavezethetők nemcsak a legkorábbi csontos halakra, hanem azon túl a sziluri időszak furcsa, páratlan páncélos pladermáira is - írták a kutatók, Dr. Zhu és a társszerzők.



(forrás: samnoble.museum.ou.edu/common-fossils-of-oklahoma/paleocommunities/terrestrial-communities/silurian-early-devonian/)

Szilur és korai devon látkép rekonstrukciója.

A szárazföldi növények bonyolultabbá válnak. A sziluriai és korai devoni időszakban a szárazföldi növények sokféle új formát fejlesztettek ki, amelyek mérete és összetettsége növekedett. A növények sok csoportja megnövekedhet (nem csak a talaj mentén) és elágazásokat hozott létre, amely lehetővé teszi több napfény összegyűjtését és több spóra előállítását. A legmagasabb növények elérték legalább 1 métert.

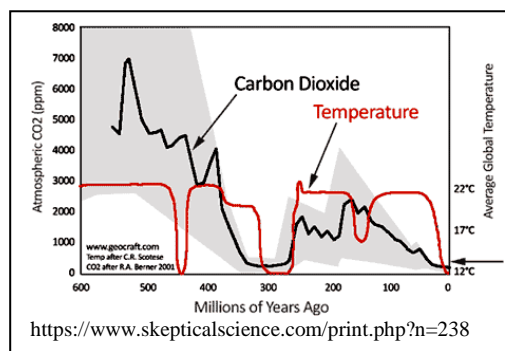
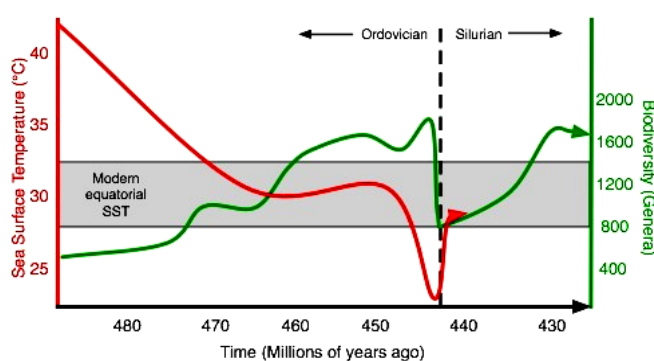


(forrás: <https://i.ytimg.com/vi/0VtLmQOKnPg/maxresdefault.jpg> és www.youtube.com/watch?reload=9&v=0VtLmQOKnPg)



(illusztráció forrása: www.dinosaurusi.com/en/post/168/earth-during-dinosaurs---silurian-period/)

Az ózonréteg további vastagodása, ~400 millió évvel ezelőtt lehetővé tette, hogy az élet a vízi élettérből kilépjen a szárazföldre. A zöldmoszatokból az árapályövbén kialakultak az ősharasztok, az első szárazföldi növények ősei. Velük párhuzamosan, egy eltérő fejlődési vonalon kifejlődtek a mohák. A változatos gerinctelen állatvilág mellett ekkor kezdtek elterjedni a halak ősei. Míg kezdetben az állkapocsnélküliek (a nyálkahalak és az ingolák ősei) domináltak, az időszak végén már a csontos halak is megjelentek.



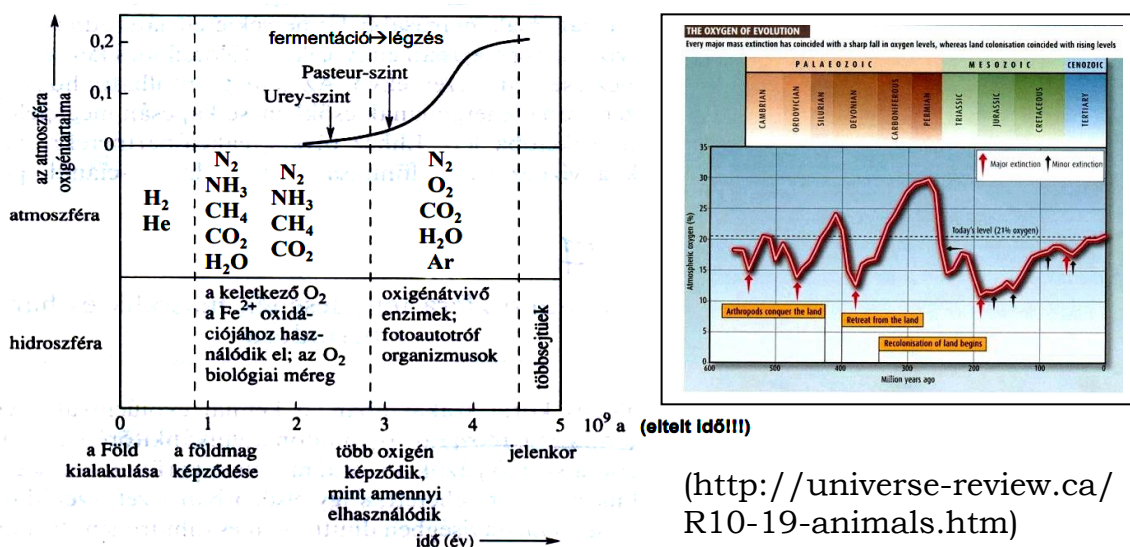
(forrás: Science, 2008. DOI: 10.1126/science.1155814, és arstechnica.com/science/2008/07/climate-and-evolution-in-times-past/)

A diagram a tenger hőmérséklete változását mutatja ordovicium-szilur időszakban és látható hogyan reagál az élet az éghajlatváltozásra.

Az őskori Szilur földtörténeti korszak végén, körülbelül 420 millió évvel ezelőtt, egy pusztító, nagy kihalási esemény miatt a tengeri fajok mintegy 60 százaléka eltűnt a Föld felszínéről.

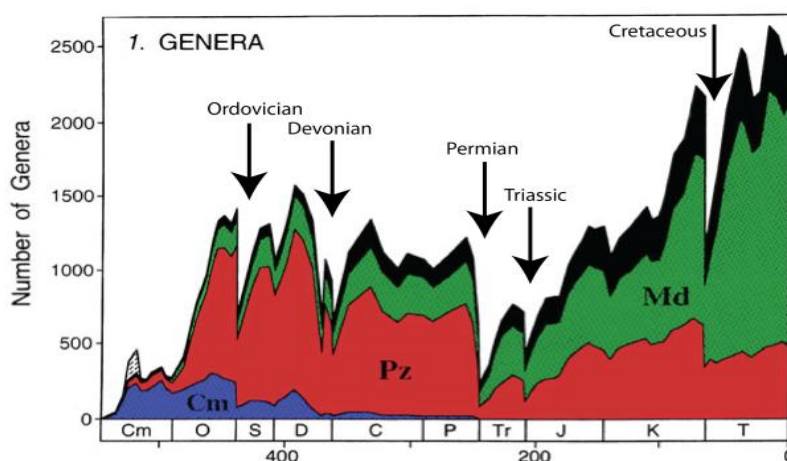
Széles körben elterjedt hogy az anoxia (oxigénszint teljes kimerülése) az óceánban az elsődleges mozgatórugója a tömeges kihalásnak.

A Floridai Állami Egyetem kutatói tanulmányukban megerősítették, hogy a pusztítást a gyorsan és az ósóceán minden területéről eltűnő oxigéna okozta. (Gill, B., Lyons, T., Young, S. et al. Geochemical evidence for widespread euxinia in the Later Cambrian ocean. Nature 469, 80–83 (2011), doi.org/10.1038/nature09700, nature.com/articles/nature09700#citeas)



(<http://universe-review.ca/R10-19-animals.htm>)

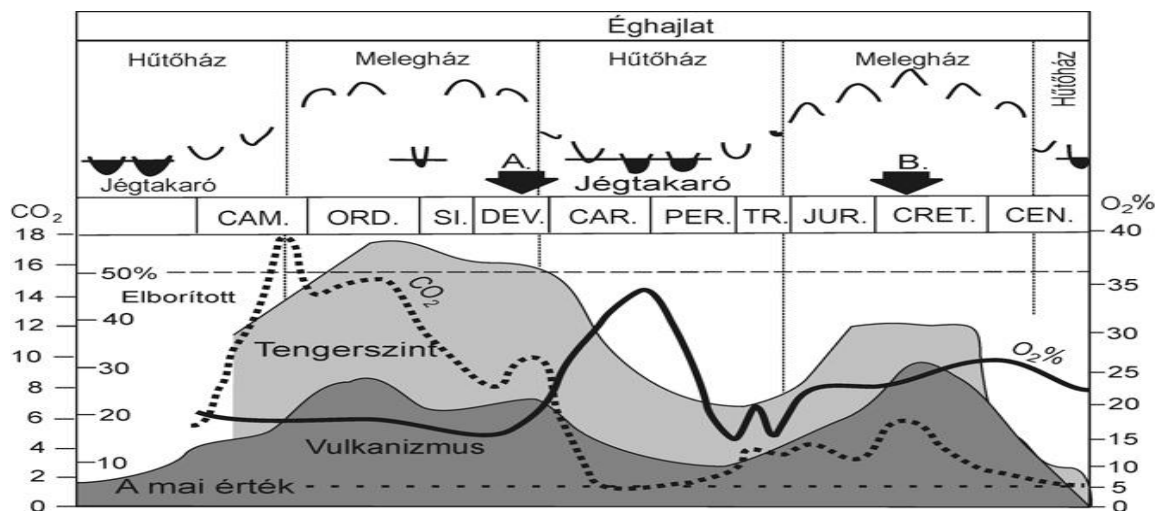
(forrás: Papp Kümmel, 1992, Az atmoszféra és a hidroszféra evolúciójának főbb fázisai. lrg.elte.hu/oktatas/Geokemia%20kornytan%20BSc/V%20Atmoszfera%20&%20hidroszfera%20%5BCompatibility%20Mode%5D.pdf)



(forrás: Sepkoski Online (wisc.edu), strata.geology.wisc.edu/jack/, és <https://timescavengers.blog/evolution/extinction/>)

A módosított Sepkoski (2002) görbe tengeri a gerinctelen biológia sokféleségét, a nemek számát jeleníti meg az évmilliók függvényében. Kambriumfauna körvonalazott kék, paleozoic Fauna piros, és a modern fauna zöld.

A kutatók azt már régóta tudják, hogy ebben az időszakban a Föld egy hosszú, meleg üvegház fázisban volt, és meleg, sekély tengerek borították az egyenlítői szárazföldeket. Azt is ismerik, hogy a kihalási esemény összefüggésben lehet a Föld szén ciklusával, amelynek során hatalmas mennyiségű szerves anyag okozott jelentős éghajlati és környezeti változásokat.



(forrás: www.matud.iif.hu/08jun/03.html)

A fanerozoikum éghajlat leegyszerűsített eloszlási képe a melegházi és hűtőházi szakaszokkal, jégtakarókkal, anoxikus szintekkel (A és B), a levegő-oxigén és szén-dioxid eloszlásával, a kontinensek tengerrel borítottságával és a vulkanizmus mértékének időbeli változásával (Fisher, 1984 nyomán, módosítva, kiegészítve)

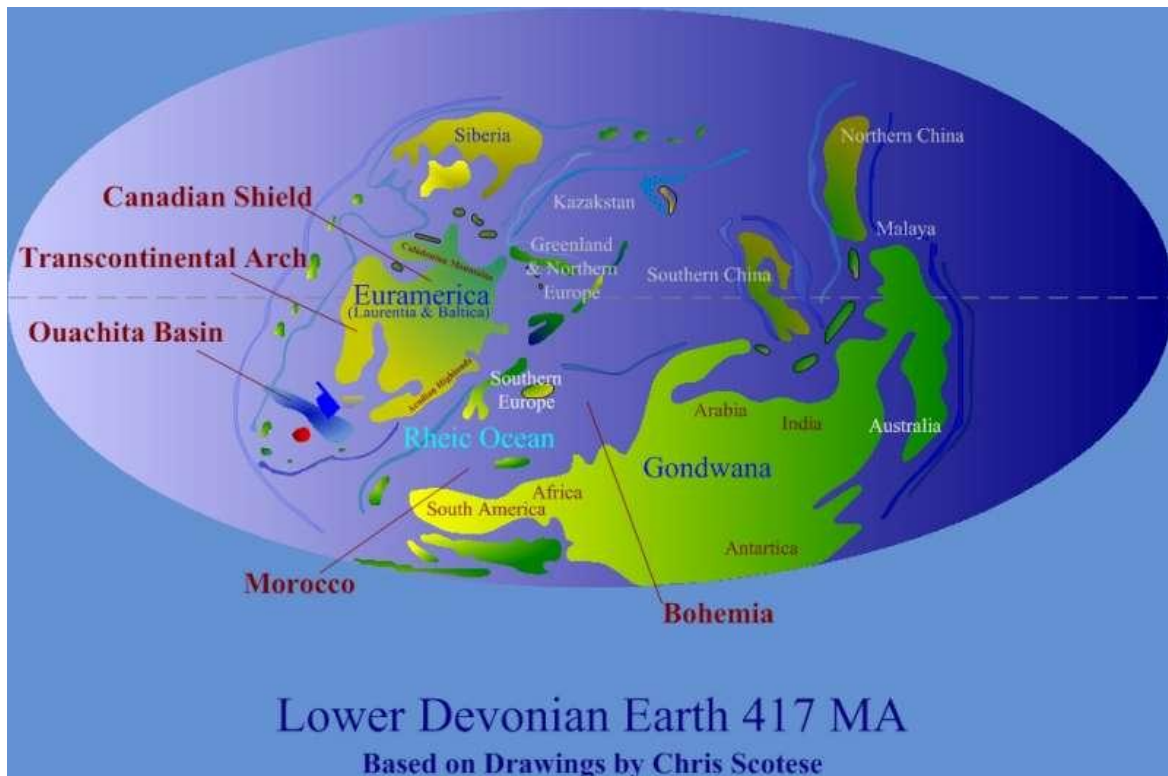
Fejlett geokémiai módszereket (tallium-izotópot, a mangánkoncentrációt és a képpalkotó izotóp méréseket) alkalmazták a lettországi és a svédországi kulcsfontosságú helyeken, ahol rekonstruálni tudták az óceán oxigénkatasztrófáját a globális szén ciklus későbbi változásainak függvényében – írta Chelsie Bowman, az FSU doktori hallgatója. a tanulmány vezetője, aki munkatársaival úttörő kutatási stratégiát alkalmazott az eset megoldására.



Illusztráció

A devon (419 - 359 millió évvel ezelőtt) közepén megjelent zsurlók, korpafüvek és a fatermetű harasztok létrehozták az első erdőket. Erre az időszakra tehető a magas növények legelső képviselőinek, a magas-páfrányoknak a kialakulása is.

A harasztok az első, szállítószövettel rendelkező magasabb rendű szárazföldi növények, amelyek szaporodása azonban még vízhez kötött.



(forrás: blackcatmountain.com/lochkovian-world_268.html)



(forrás: paleobotanical-photography.blogspot.com/p/devoniandevon.html)

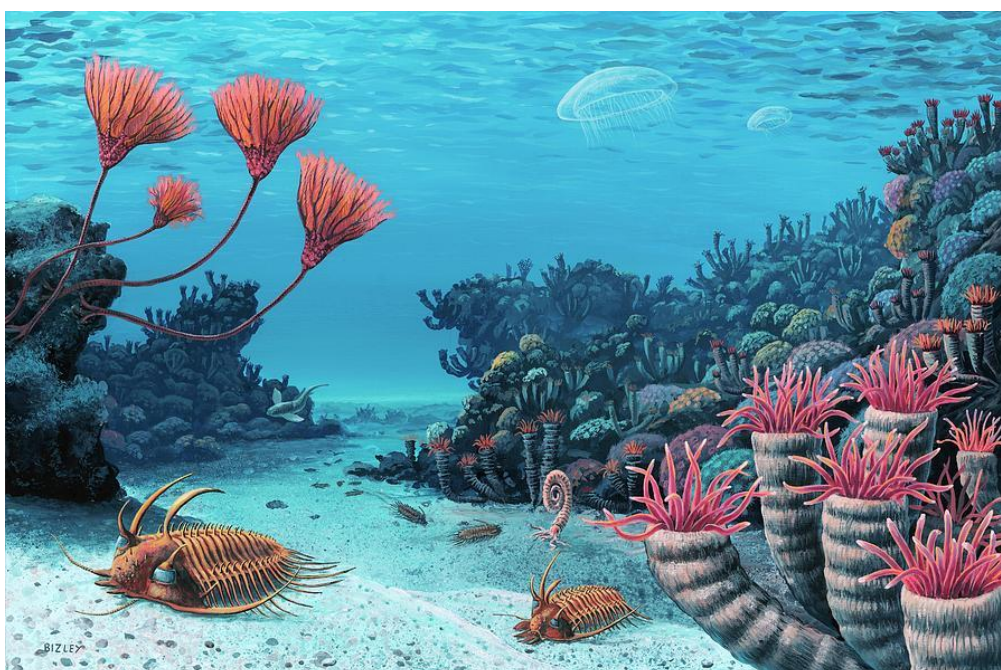


(Illusztráció: Zdenek Burian: Élet az ember előtt, Gondolat kiadó 1976.)
(forrás: www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Devon_.htm)



(forrás: <http://palaeos.com/paleozoic/devonian/devonian2.html>)

Itt látható a korabeli zátony. A sárga virágszerű organizmusok krinoidok, a tüskésbőrűek csak távoli kapcsolatban állnak a tengeri csillagokkal és a tengeri süllőkkel. A tengeri kökőrcsin, mint a vastag szárú organizmusok (beleértve a közepén lévő nagyot) Rugose korallok. Jobb alsó sarokban egy trilobit látható, ahogy egy tabulát korall fölött mászik. A jobb felső sarokban található szivacsok vannak.



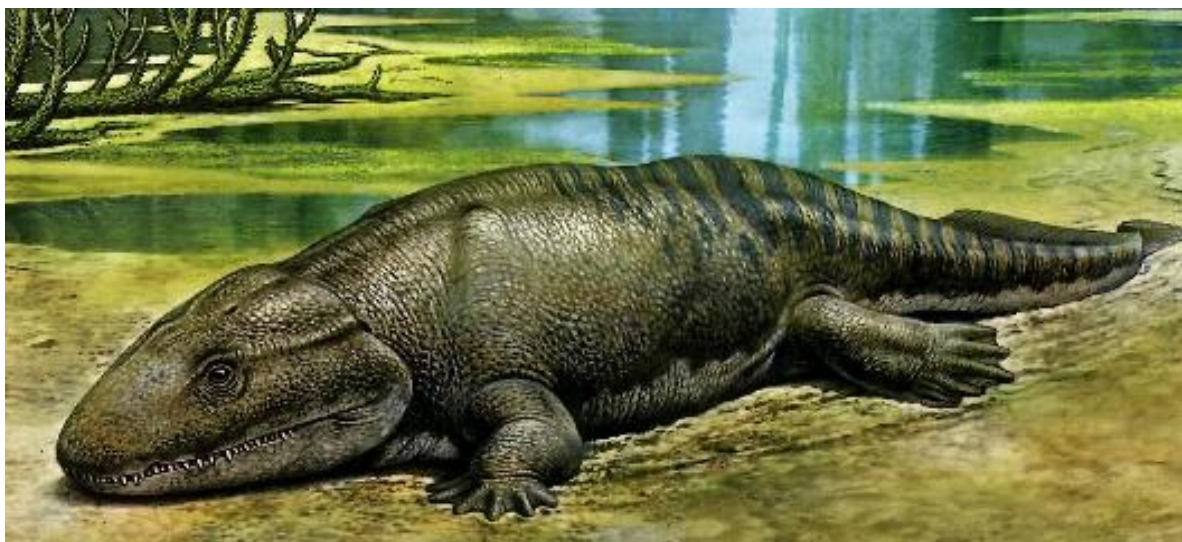
(forrás: pixels.com/featured/trilobites-of-the-early-devonian-richard-bizley.html)

A devoni időszak meleg trópusi óceánjain halak, nautiloidok, korallok, tüskésbőrűek, trilobitok és konodontok találhatóak.

A növények térhódítását követték a szárazföldi légzésre és mozgásra áttért állatok is. Az első valóban szárazföldi állatok izeltlábúak lehettek.

Számos közös és átmeneti tulajdonságból arra lehet következtetni, hogy a bojtosúszós halakból származtathatók az ősi kétéltűek (Stegocephalák).

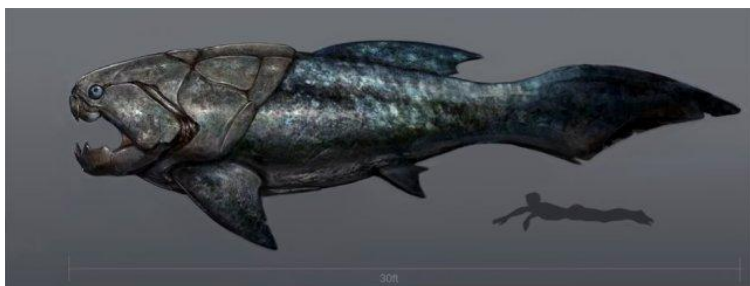
Míg a paleozoikum régebbi szakaszaiban (kambrium, ordovicium, szilur, devon) a halak fejlődése indult virágzásnak, valamint kialakultak az első szárazföldi növények és állatok, addig az ókor újabb szakaszait (karbon, perm) már a kétéltűek és az első hüllők megjelenése jellemzi.



(illusztráció forrása: hu.pinterest.com/pin/489555421973947155/)

A négylábú szárazföldi gerincesek egyik legősibb képviselője a kezdetleges szervezetű ősi kétéltű, az Ichthyostega.

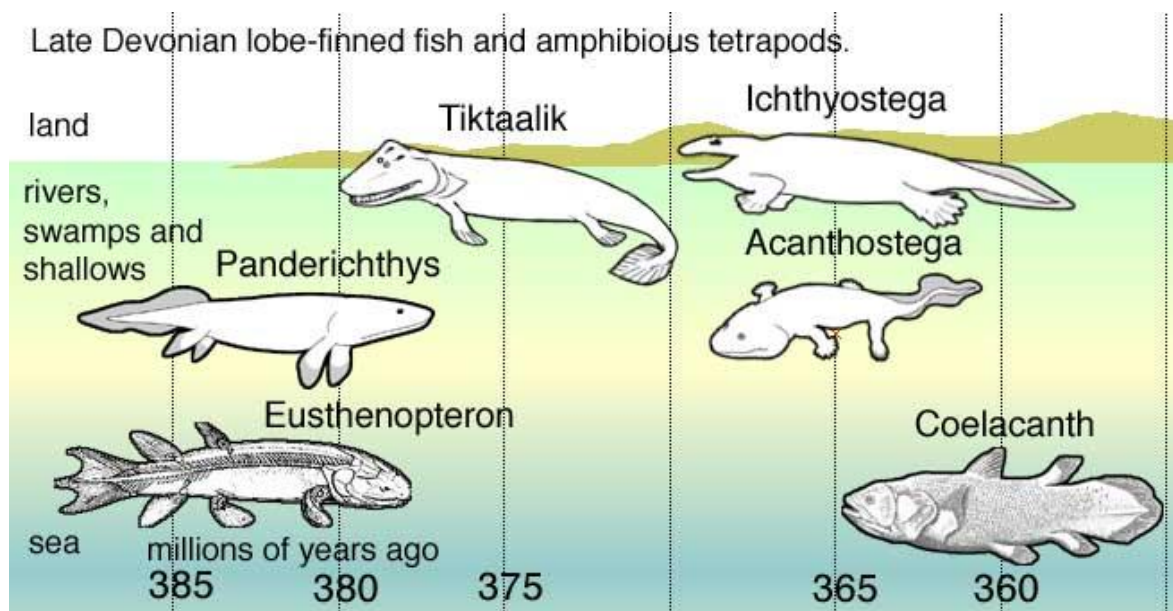
A devon állatvilágának jellegzetes tagjai:



Dunkleosteus, ragadozó páncélos őshal,
(unapologeticnerd.com/2014/05/09/ancient-animals-and-their-fake-mon-introduction-and-dunkleosteus/)

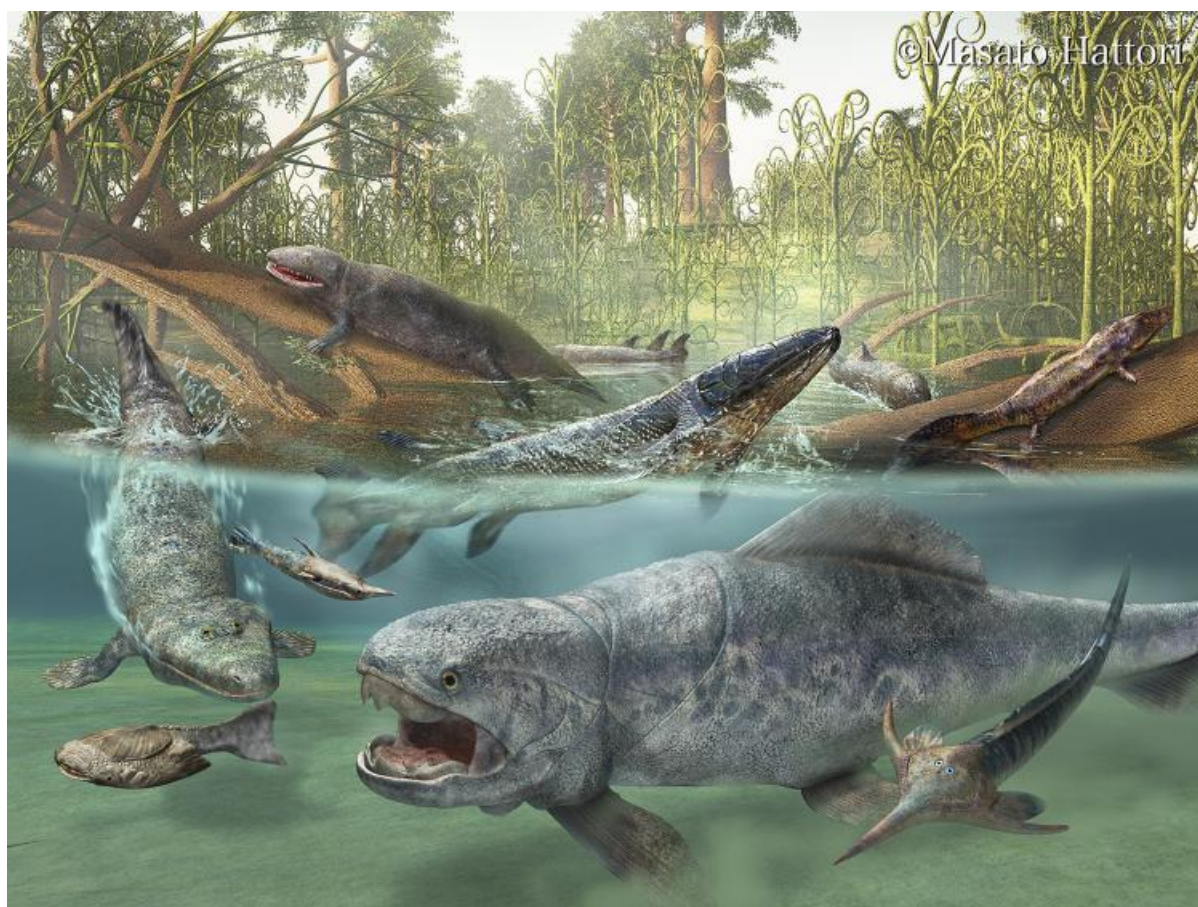


Bojtosúszós maradványhal bojtosúszójú halak ma élő kései leszármazottja.
(www.greelane.com/hu/tudomany-tech-math/allatok-es-termeszet/coelacanth-worlds-only-living-extinct-fish-1093326/)



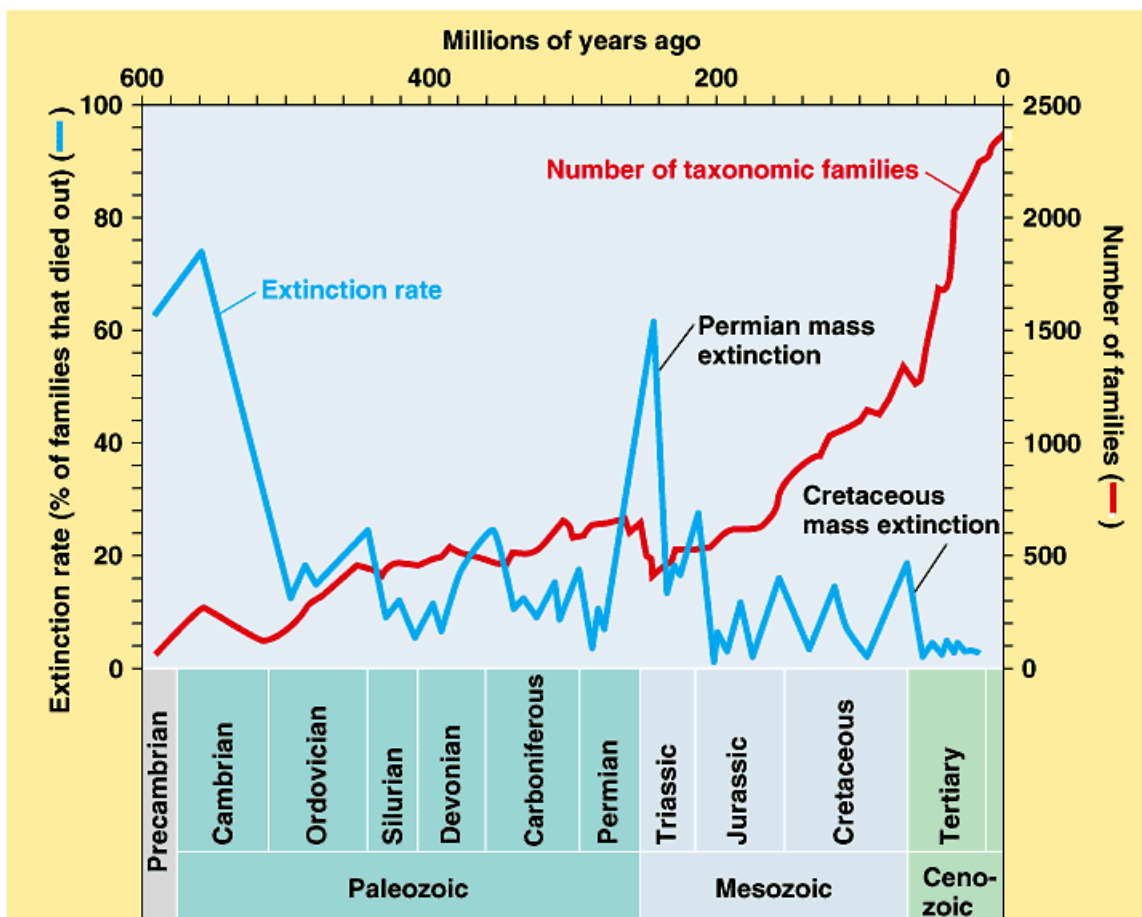
(forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Acanthostega>)

A gerincesek késő devon idején történt specializálódása folyamán a pelagikus bojtosúszójú halak, mint az Eusthenopteron több különböző környezethez adaptálódtak. :



(forrás: prehlife.weebly.com/masato-hattori1.html)

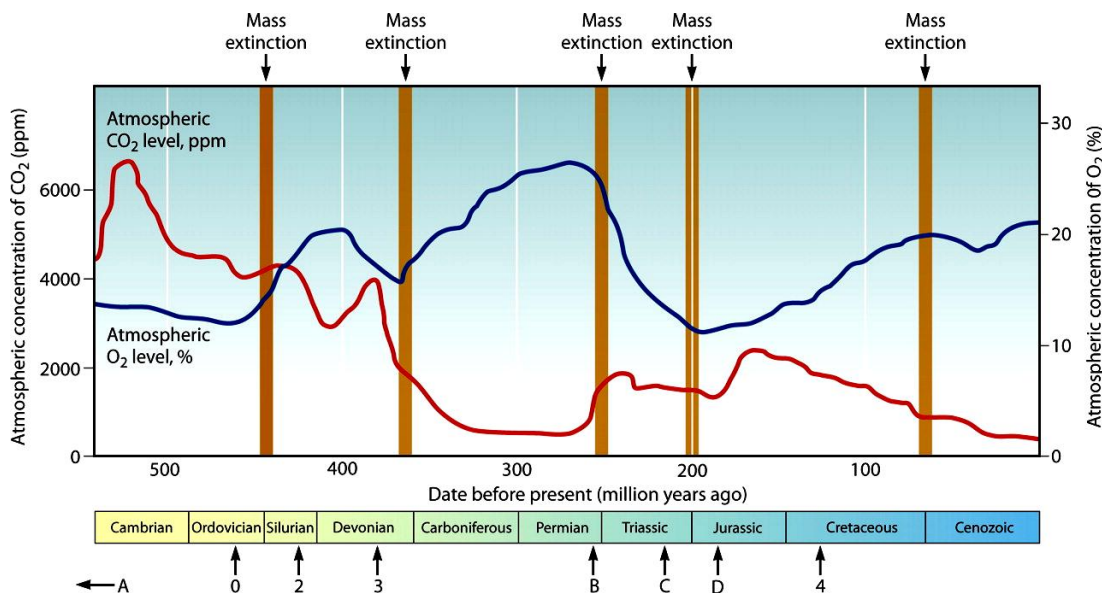
A késő devon kori kihálási esemény (~360 millió éve) pont az előző ellenkezője volt, hiszen a viszonylag gyorsan megszűnő glaciális körülmények hatására a tengerszint megemelkedett és oxigénben szegény víz árasztotta el a sekélytengeri élőhelyeket, a mélyóceáni vizek pedig pangtak, így a fajok 79-87 százaléka tűnt el örökre. A kutatók úgy hiszik, hogy az új gyökérrendszerrel rendelkező erdők megjelenése felgyorsította a talajképződést, a mállást, mely során több ásványi anyag érte el a tengereket. Ez az oxigént felhasználó algák robbanásszerű elszaporodását okozhatta és erre tett rá egy lapáttal, hogy a fotoszintetizáló növények lecsökkentették a légkör CO₂-tartalmát, amely lehűlést eredményezett. A kelet-szibériai Viluy (Kamcsatka) vulkánkitörések hatásáról nem is beszélve.



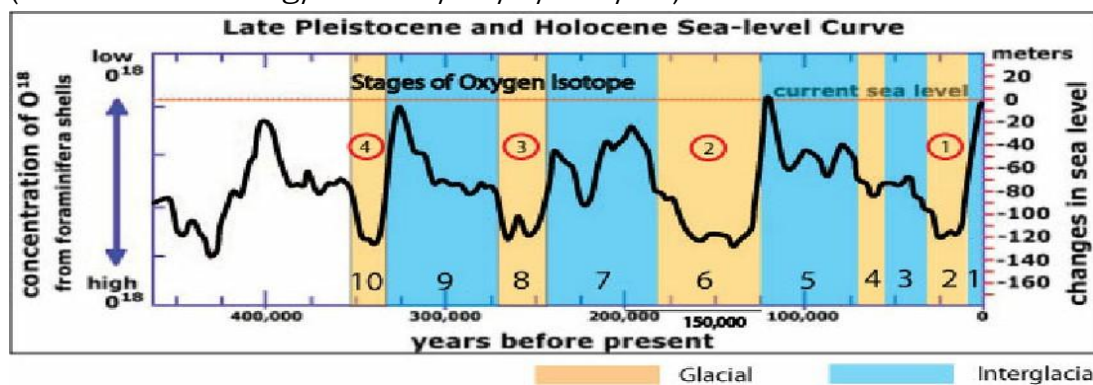
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

(forrás: www.researchgate.net/publication/305730824_Quantitative_Evolution_of_Species, és www.researchgate.net/figure/Extinction-rate-blue-curve-and-evolution-of-the-number-of-families-red-curve-over_fig7_305730824)

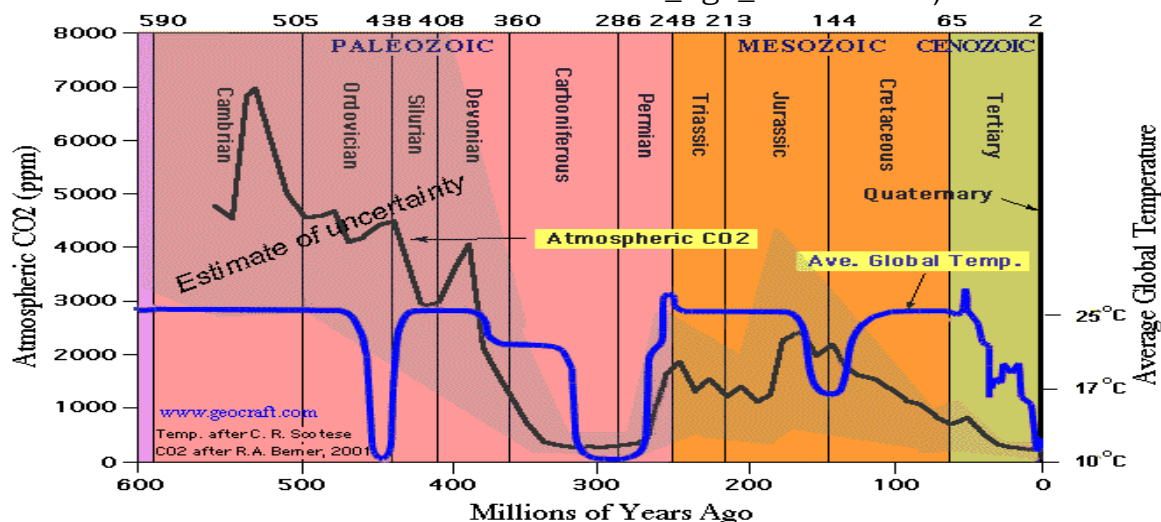
A kihálási arány (kék görbe) és a családok számának alakulása (piros görbe) az elmúlt 600 millió évben.



(forrás: ec.asm.org/content/10/7/856/F7)



(forrás: www.researchgate.net/figure/Eustatic-sea-level-curve-for-Late-Pleistocene-and-Holocene-Also-shown-are_fig2_267769111)

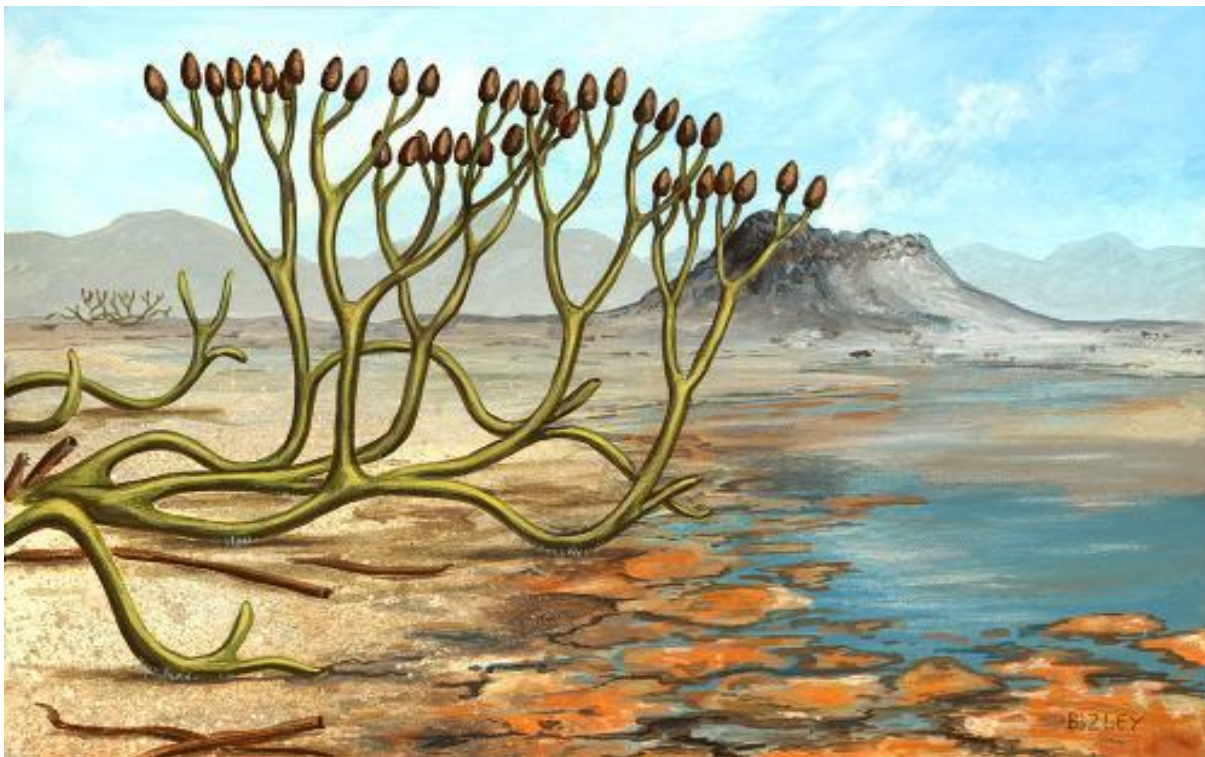


(forrás: slideplayer.hu/slide/12810312/77/images/10/A+Föld+hőmérsékletének+története.jpg)

A diagramok a földi atmoszféra O₂ és CO₂ koncentrációját, valamint a tengerszint változást, továbbá a hőmérséklet és a CO₂ változást mutatják az az utóbbi kb félmilliárd évben.



(illusztráció: Richard Bizley, forrás: the6thmassextinction.blogspot.com/2012/11/late-devonian-mass-extinction.html)



(forrás: www.bizleyart.com/images/gallery/details/prehistoric_4/palaeozoic_12/devonian_15/0820_aglaophyton_20150401_1139369468.jpg)

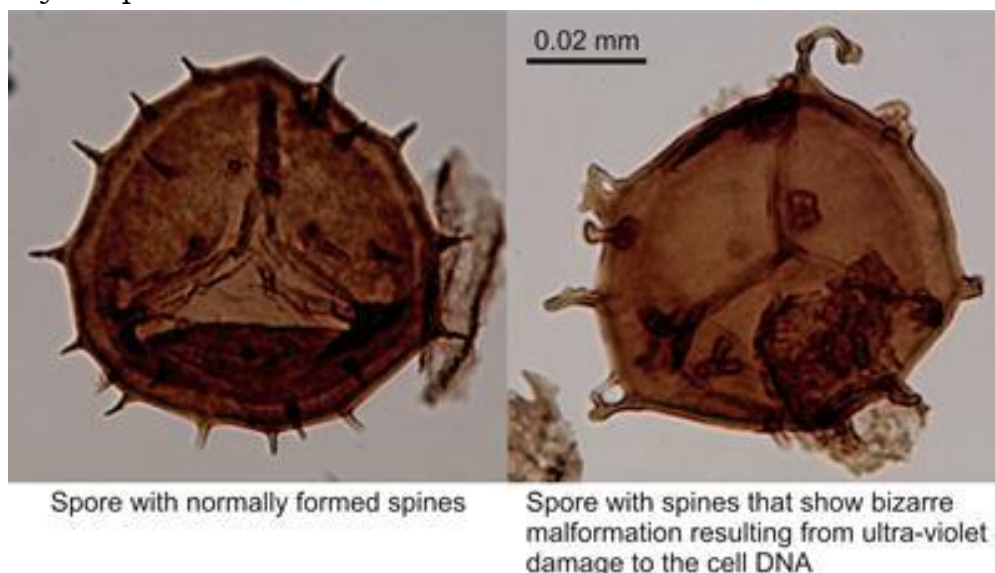
Egy új kutatás eredménye alapján a 359 millió éve, a devon-karbon időszakok határát jelző kihalási hullám annak köszönhető, hogy bolygónk ózonpajzsa rövid időre eltűnt, s ez egybeesett egy jelentős felmelegedési időszakokkal is.

Két fázisból állt a devon időszak végének kihalási hulláma, először egy, a tengerek oxigénszegénységének köszönhető eseménysorban a tengeri élővilág egy része pusztult el, majd, kb. 300 ezer évvel ezt követően a szárazföldek és a sekély, édesvízi élőlények következtek. Ez utóbbiakat a most napvilágot látott angol kutatás eredménye alapján UV-B sugárzás miatt pusztultak el. Az UV-B sugarak igen nagy részét elnyeli a bolygónk ózonpajzsa, s csak egészen kevés jut a felszín közelébe.

A devon végén nagy kiterjedésű jégtakaró borította Föld jelentős részét, mértéke a negyedidőszakihoz hasonló volt.

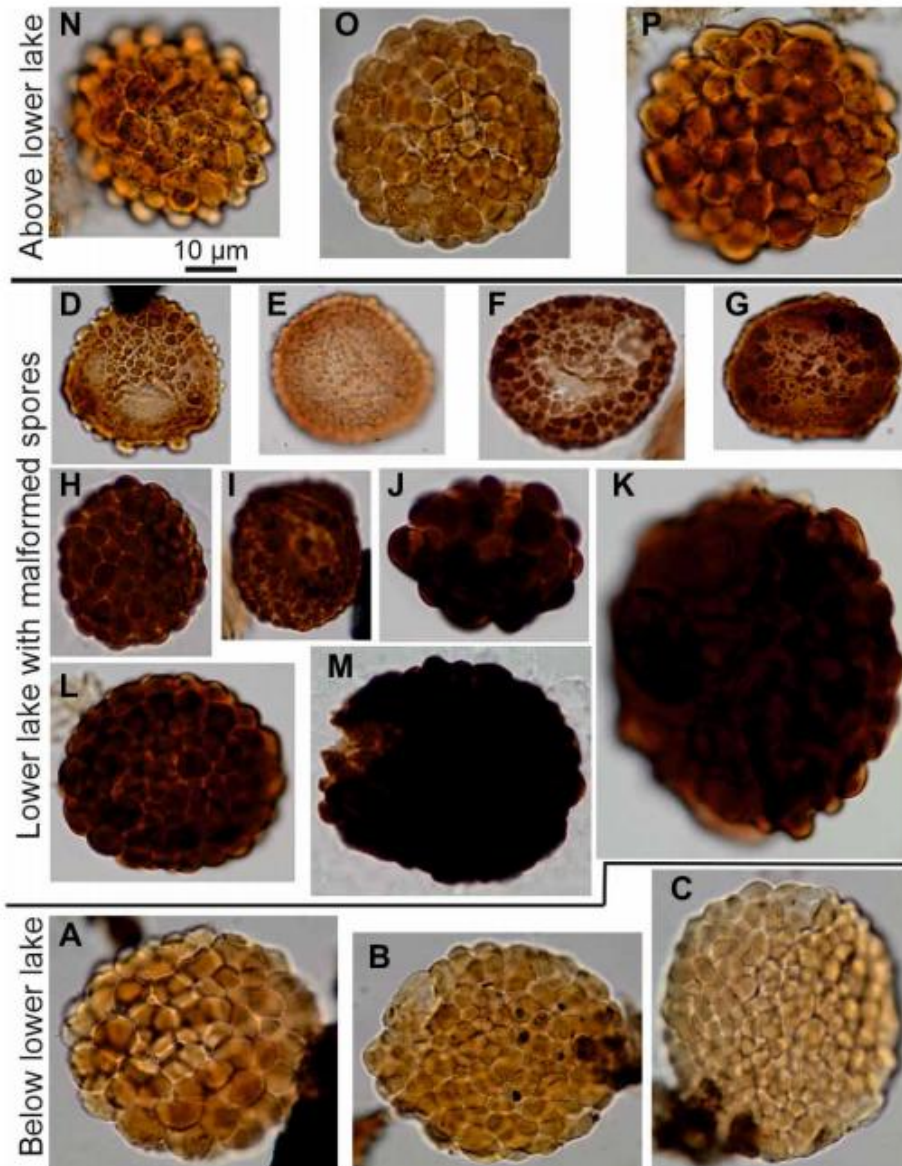
Az eljegesedés végén azonban igen jelentős és gyors felmelegedés indult meg. A Southamptoni Egyetem és a Cambridge-i Sedgwick Földtudományi Múzeum kutatóinak közös tanulmányában grönlandi kőzetmintában talált növényi mikrofossziliákat vizsgáltak meg, a kőzetrétegek tartalmazzák a teljes kihalási hullámidőszakát.

Kelet-grönlandi tó üledékeiből vonták ki a korabeli növényzet (pl. pikkelyfák) spóráit. Összehasonlításképpen a mai Bolíviában, a Titicaca-tó környékén talált kőzeteket is megvizsgáltak, e terület a devon végén közelebb volt a déli sarkvidékhez, és ahhoz a régióhoz, ahol a devon-végi jégtakaró olvadása zajlott. A kőzetekből sósavval kioldották a pikkelyfák és más ekkor élt növények spóráit.



(www.southampton.ac.uk/news/2020/05/ozone-extinction-event.page, és <https://link.springer.com/article/10.1007/s12549-020-00448-x>)

Az ábrán egy hibátlan formájú *Grandispora cornuta* spóra, és egy erős UV-B sugárzás hatására károsodott spórát, és a deformált tüskéit lehet látni.



(forrás: advances.sciencemag.org/content/6/22/eaba0768)

Az ábrán alulról felfelé: *Verrucosporites nitidus* spórái a D-C határ alatti rétegből (a kihalás előtti), a D-C határ közöttből (a kihalás korából) származó, majd felül (a kihalás utáni spórák) D-C határ feletti rétegből.

A *Verrucosporites nitidus* spórái a D-C határ alatti rétegből, a D-C határ közöttből és D-C határ feletti rétegből, UV-B rendellenességek. (A) - (C) a határ alól (Stensiö Bjerg-formáció) és megvan a *Verrucosporites nitidus*, spóra jellegzetes, forma. (D) -től (K) -ig az alsó tó (Rebild Bakker-formáció), (H) - (M) erőteljesebben pigmentált és több normál forma, a szokásosnál szélesebb átmérőtartománnyal. (D) - (G) halványabbak színes és kisebb méretű, és szabálytalanul fejlett formákkal rendelkeznek. (N) - (P) a *Verrucosporites nitidus* normális példányai a felső tómedréről (Bakild Rebild-formáció).



Fig. S5. Representatives of the plant stems measured on the traverse of specimens across the D-C boundary on Celsius Bjerg. The stems are normally decorticated. The spiral arrangement on **C** is typical of a lycopod. **D** is a trunk base. **E** and **F** (the latter is a part and counter-part) are better preserved compressions from the lower part of the Obrutschew Bjerg Formation. **H** is a branching stem. **I** is one of the last holoptychian fish scales found in the Devonian 4.5 m below base of the Obrutschew Bjerg Formation. All scale bars 10 cm, except **E** and **I** that are 2.5 cm. Photo credit: John Marshall, University of Southampton.

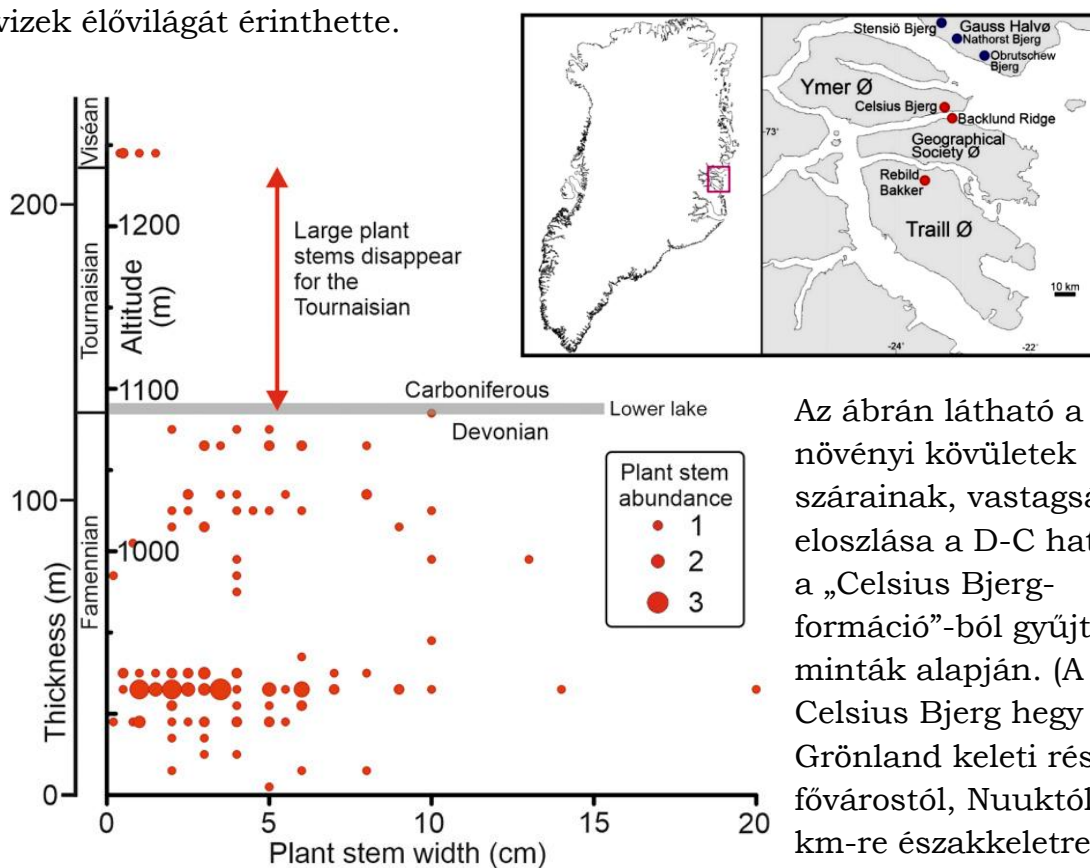
(forrás: John E. A. Marshall, Jon Lakin, Ian Troth, Sarah M. Wallace-Johnson, UV-B radiation was the Devonian-Carboniferous boundary terrestrial extinction kill mechanism, Published 27 May 2020, *Sci. Adv.* 6, eaba0768 (2020), DOI: 10.1126/sciadv.aba0768, https://advances.sciencemag.org/content/advances/suppl/2020/05/21/6.22.eaba0768.DC1/aba0768_SM.pdf)

A növényi szárak mintái, a példányok keresztmetszetén mérték a D-C határ a Celsius Bjerg-en.

Az egészséges spórák külsején szabályos kis tüskék helyezkednek el, azonban a grönlandi kőzetekben számtalan olyan spórára bukkantak rá, amelyek tüskéi torzultan nőttek, az pedig botanikai kísérletekből ismert, hogy a megemelt UV-sugárzás hatására változnak így meg a spórák. E torz tüskéken túl a spórák burkolatában sötét pigmenteket találtak, amelyek szintén annak a jelét hordozzák, hogy a megnövekedett ultraibolya sugárzás ellen védekezett a növény.

Annak kiderítése céljából, hogy jelentős vulkáni tevékenység összefüggésbe hozható-e a kihalással, a kőzetrétegek higanytartalmát is megvizsgálták, és úgy találták, hogy nincs ilyen kapcsolat, vagyis a kutatók szerint kizárható, hogy az eseményt egy nagy magmás provincia kitörése okozta volna.

Ezek a vizsgálatok vezettek el a következtetéshez, ami a megnövekedett UV-sugárzáshoz köti a kihalási hullámot, amely így a szárazföldeket és a sekély vizek élővilágát érinthette.



Az ábrán látható a növényi kővületek szárainak, vastagsága és eloszlása a D-C határnál a „Celsius Bjerg-formáció”-ból gyűjtött minták alapján. (A Celsius Bjerg hegy Grönland keleti részén, a fővárostól, Nuuktól 1500 km-re északkeletre található.)

(forrás: <https://advances.sciencemag.org/content/6/22/eaba0768>, és <https://link.springer.com/article/10.1007/s12549-020-00448-x>)

A szárazak maximális átmérője és száma van a földtani időskála szakaszok függvényében ábrázolva. Nagy növények teljesen és hirtelen eltűnnek az alsó tő D-C határánál, és hiányoznak a Tournaisian 7 millió éve alatt.

(Tournaisian korszak az ICS földtani időskálán a devon korszak famenniai szakaszát fedi le a Mississippian legalacsonyabb szakaszában.)

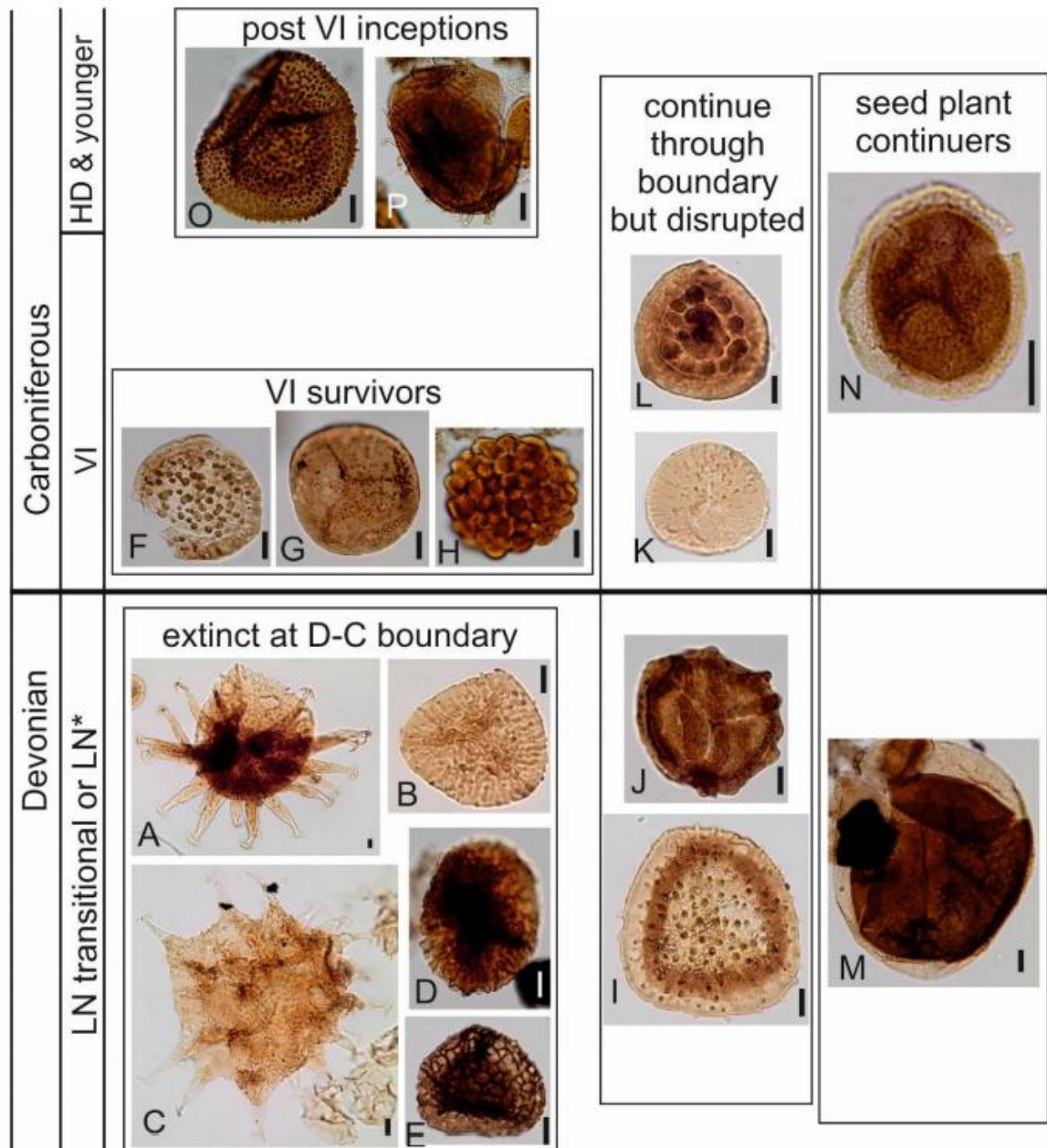


Fig. S4. Examples of important spores and pollen from the D-C boundary sections in East Greenland and their relationship to the boundary. **A.** *Hystricosporites* sp. **B.** *Rugospora radiata* **C.** *Ancyrospora capillata* **D.** *Diducites variabilis* **E.** *Retispora lepidophyta* **F.** *Vallatisporites verrucosus* **G.** *Retusotriletes incohatus* **H.** *Verrucosisporites nitidus* **I.** *Indotriradites explanatus* **J.** *Knoxisporites concentricus* **K.** *Claytonispora rarisetosa* **L.** *Tumulispora rarituberculata* **M.** *Remysporites/Velamisporites* **N.** *Auroraspora asperella* **O.** *Spelaeotriletes obtusus* **P.** *Claytonispora distincta*. All scale bars 10 μ m. Sample and slide numbers plus England Finder co-ordinates are on table S4.

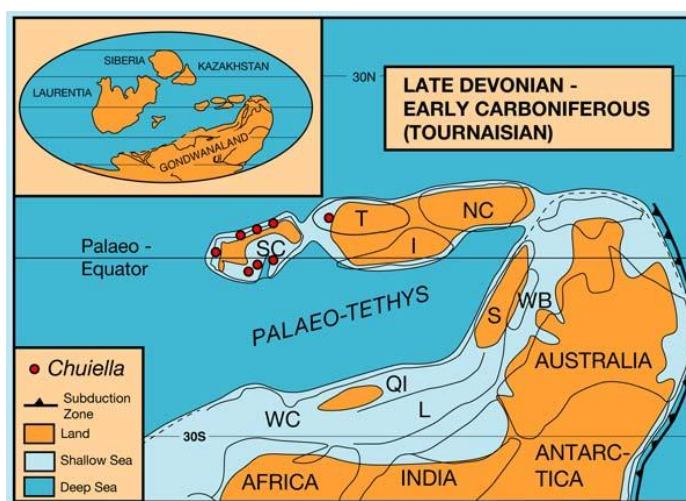
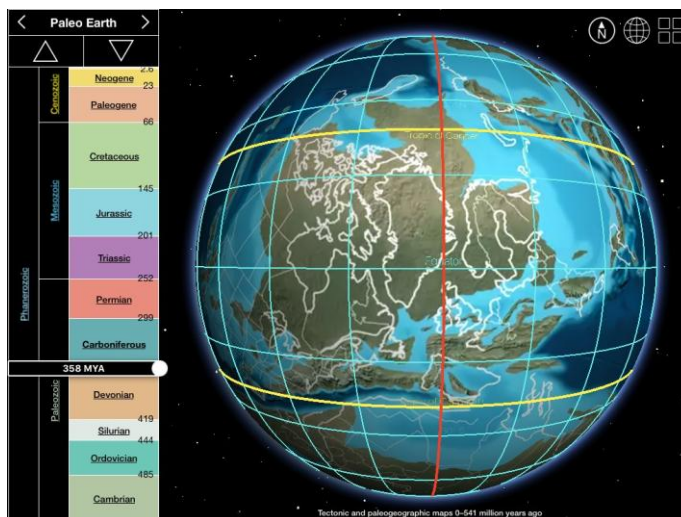
(forrás: advances.sciencemag.org/content/advances/suppl/2020/05/21/6.22.eaba0768.DC1/aba0768_SM.pdf)

Carboniferous Period

Eonothem/ Eon	Erathem/ Era	System/ Period	Subperiod	Series/ Epoch	Stage/ Age	millions of years ago
Phanerozoic	Paleozoic	Carboniferous	Pennsylvanian	Upper	Gzhelian	298.9 ± 0.2
					Kasimovian	303.7 ± 0.1
				Middle	Moscovian	307.0 ± 0.1
					Lower	Bashkirian
			Mississippian	Upper		Serpukhovian
					Middle	Visean
	Lower	Tournaisian		346.7 ± 0.4		
		Lower		Tournaisian		358.9 ± 0.4

Published with permission from the International Commission on Stratigraphy (ICS). International chronostratigraphic units, ranks, names, and formal status are approved by the ICS and ratified by the International Union of Geological Sciences (IUGS).

Source: 2012 International Stratigraphic Chart produced by the ICS.



(forrás: www.britannica.com/science/Tournaisian-Stage, Encyclopædia Britannica, Nemzetközi Stratigraphy Bizottság (ICS), és www.biointeractive.org/classroom-resources/earthviewer és www.biointeractive.org/professional-learning/educator-voices/earthviewer <https://etcalfeian.com/web-data/Research/PalGeog/Devonian.html>)

Kelet-Gondwana rekonstrukciója a késő devoni és alsó karbonkori (tournaisi) időkben a kelet- és délkelet-ázsiai terranes feltételezett helyzetét mutatja. Szintén látható az endemikus Tournaisian brachiopoda nem *Chuiella* eloszlásai. NC = Észak-Kína SC = Dél-Kína T = Tarim I = Indochina/East Malaya/West Szumátra/Nyugat-Burma QI = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu SWB = Délnyugat-Borneói WC = Nyugat-cimmerian kontinens (a Metcalfe a sajtóban, Geol. Soc. London Special Issue).

A kutatócsoport úgy gondolja, hogy az ózonvesztés a gyors felmelegedés során a Föld rendszerének velejárája. A földi klímacyklusnak köszönhetően álltak be ekkor olyan légköri változások, amelyek eredménye az ózonpajzsunk leépülése lett.

Egy másik kutatóprogram keretében az amerikai Illinois Egyetem (University of Illinois at Urbana-Champaign) kutatói Brian Fields professzor vezetésével a devon-karbon határból származó geológiai mintákat és azokból kinyert növényi spórák vizsgálták laboratóriumban. Több mint ezer generációját átfogó biológia minta elemi és izotópos összetételét elemezték.

A kutatás széles körű nemzetközi együttműködésben valósult meg, amelyben a University of Kansas (USA), a Kings College (UK), a European Organization for Nuclear Research (Svájc), a National Institute of Chemical Physics and Biophysics (Észtország), a United States Air Force Academy (USA) és a Washburn University (USA) kutatói is részt vettek.

A kutatók azt figyelték meg, hogy a spórákat erős ultraibolya besugárzás "égette", ami a késő devoni ózonréteg hosszú időtartamú, több százezer évig tartó hiányára utal. A földi folyamatok azonban nem okozhatták a védő ózonréteg ilyen hosszú ideig tartó hiányát.

A késő devoni minták laboratóriumi vizsgálatai a vas-60 (^{60}Fe), szamárium-146 (^{146}Sm) és plutónium-246 (^{246}Pu) hosszú élettartamú radioaktív izotópok jelenlétét mutatták ki. Ezek kizárólag csak szupernóva-robbanás során vagy pedig vörös óriáscsillagokban (AGB csillagok) keletkezhetnek, és onnan szóródtak ki a csillagközi térbe, majd idővel eljutottak a Földre.



(forrás: www.csillagaszat.hu/hirek/kozeli-szupernova-okozhatott-tomeges-kihalast-360-370-millio-evvel-ezelott/?fbclid=IwAR09WTvZ9gB3sFRnCsps6T)

A Nap a Tejútrendszer fősíkja közelében mozog és legnagyobb valószínűséggel II-es típusú szupernóvával találkozhatott, mert a nagy tömegű csillagok a fősík közelében alakultak ki a csillagközi anyagból. Több nagy tömegű csillag is II-es típusú szupernóvává válhatott rövid időn, néhány millió vagy tíz millió éven belül.

A laboratóriumi vizsgálatokból megbecsülték, hogy a devon végén ~370 millió éve kezdődően egy vagy több szupernóva a Földtől mintegy 65 fényév távolságból szórhatta szét anyagát, és ennek egy része elérte bolygónkat. Egyébként a földi élővilág katasztrofális pusztulását egy mintegy 30 fényéven belüli szupernóva hatása okozná, tehát a 65 fényév már csak egy jó közepes hatás kiváltására elegendő távolság, ami megfelel a devon végi kozmikus katasztrófa mértékének.

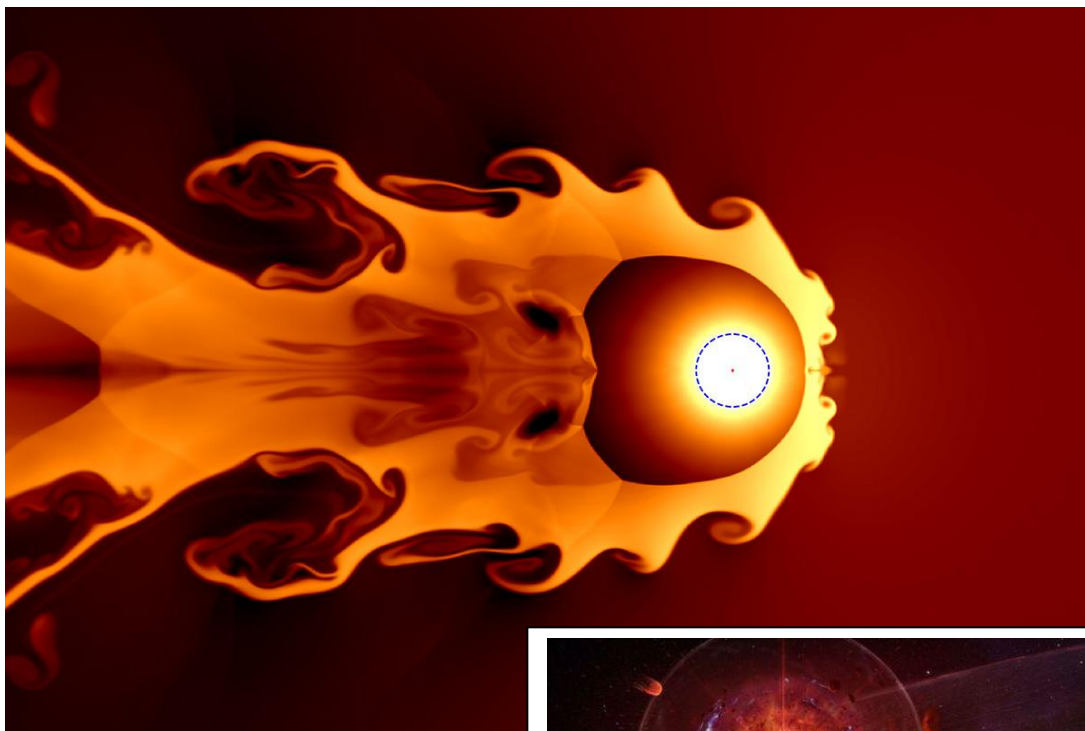
Szupernóva-robbanáskor a Földet először a fénysebességgel érkező elektromágneses sugárzás éri el. A gamma-sugarak a földi légkörben több lépéses reakció során megbontották az ózonréteget, és a Nap, illetve a közeli szupernóva káros ultraibolya, röntgen- és gamma-sugarai elérték a felszínt, és nagy kárt tettek az élővilágban.

Továbbá a légköri gázokkal kölcsönhatva műonok keletkeztek, amelyek szintén elérték a felszínt, sőt közel egy kilométer mélységig le tudtak hatolni a tengerekbe, óceánokba is. Például a devoni lábasfejűek egy része kipusztult,

Azok a vízi élőlények, amelyek nem tudtak néhány száz méteres vagy egy kilométeres mélységbe lemerülni, elmenekülni, nagy valószínűséggel elpusztultak, vagy annyira egészségtelen mértékben károsodott génállományuk, hogy az adott faj életképtelenné vált és végül is kipusztult. Ennek következtében a tápláléklánc megszakadása is hozzájárult a devon végi nagy fajpusztuláshoz, sőt a nagy mennyiségű biomassza által termelt káros gázok is mérgezővé tették az alsó légkört, illetve a vizeket.

Már egyetlen szupernóva térben táguló, több rétegű maradványán történő áthaladások is legalább százezer évig tartó, tehát hosszú idejű megnövekedett „kozmoszsugár-fürdőt” jelentettek bolygónknak, de több közeli szupernóva még hosszabb ideig tartó, összeadódó hatásáról is szó lehetett egy nyílthalmaz vagy asszociáció közelében elhaladva. Így egy időben több millió évig elhúzódó pusztulás, felépülés, majd újabb pusztulás és regenerálódás egymásutánja érthette az élővilágot a devon végi eseménysorban.

Az ismertető tudományos közlemény a PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America) folyóiratban jelent meg.



(forrás: Brian D. Fields, Adrian L. Melott, John Ellis, Adrienne F. Ertel, Brian J. Fry, Bruce S. Lieberman, Zhenghai Liu, Jesse A. Miller, and Brian C. Thomas, Supernova Triggers for End-Devonian Extinctions PNAS September 1, 2020 117 (35) 21008-21010; first

published August 18, 2020, <https://doi.org/10.1073/pnas.2013774117>, <https://www.pnas.org/content/117/35/21008> és

www.upi.com/Science_News/2020/08/18/Supernova-could-explain-extinctions-at-the-end-of-the-Devonian-period/4961597780190/,

Graphic courtesy Jesse Miller, news.illinois.edu/view/6367/750171228, és www.scribd.com/article/478381423/A-Supernova-Sparked-Mass-Extinction-359-Million-Years-Ago)



(forrás: www.express.co.uk/news/science/1336727/nasa-news-tess-spitzer-solar-system-star-death-supernova-space, Kép: GETTY)

Brian Fields professzor által vezetett kutatócsoport feltételezi, hogy egy körülbelül 65 fényévnnyire lévő szupernóva hozzájárulhatott az ózonréteg csökkenéséhez és a későbbi, 359 millió évvel ezelőtti tömeges kihaláshoz. A képen egy közeli szupernóva szimulációja ütközik és összenyomja a napszelet. A Föld pályája, a kék szaggatott kör és a Nap, a piros pont skálája látható.

A karbon (359 - 299 millió évvel ezelőtt) időszakot a már kialakult növény- és állatcsoportok gazdagodása, a változatosság és a méretek növekedése jellemezte. Az északi féltekén trópusi, nedves éghajlat uralkodott. Az erős vulkáni tevékenység következtében sok szén-dioxid került a légkörbe, így a fotoszintézis mértéke növekedhetett.

Hatalmas, buja erdőségek alakultak ki a 20-40 méter magas, fás szárú harasztokból és nyitvatermőkből (Gymnospermae). A növényvilág jellegét a nyitvatermők határozták meg. Megindult a cikász-szerű növények fejlődése (Cycadoidea), és elterjedtek a tűlevelűek is, a mai fenyők ősei.

Az erdőkben roppant mennyiségű szerves anyag halmozódott fel, melynek egy része a mocsaras területeken elmerülve, anaerob viszonyok mellett elszenesedett. Ebből az időszakból származnak napjaink legjobb minőségű kőszenei.



(Illusztráció: Zdenek Burian: Élet az ember előtt, Gondolat kiadó 1976.)

A karbon időszak a rovarok és a kételtűek virágkora. A rovarok óriási testméretű fajai nagy egyedszámban népesítették be az erdőket. A karbon elején az ősi kételtűekből kialakultak az első hüllők.



(forrás: www.ancient-earth.com, és dinopark.fandom.com/wiki/Meganeura)

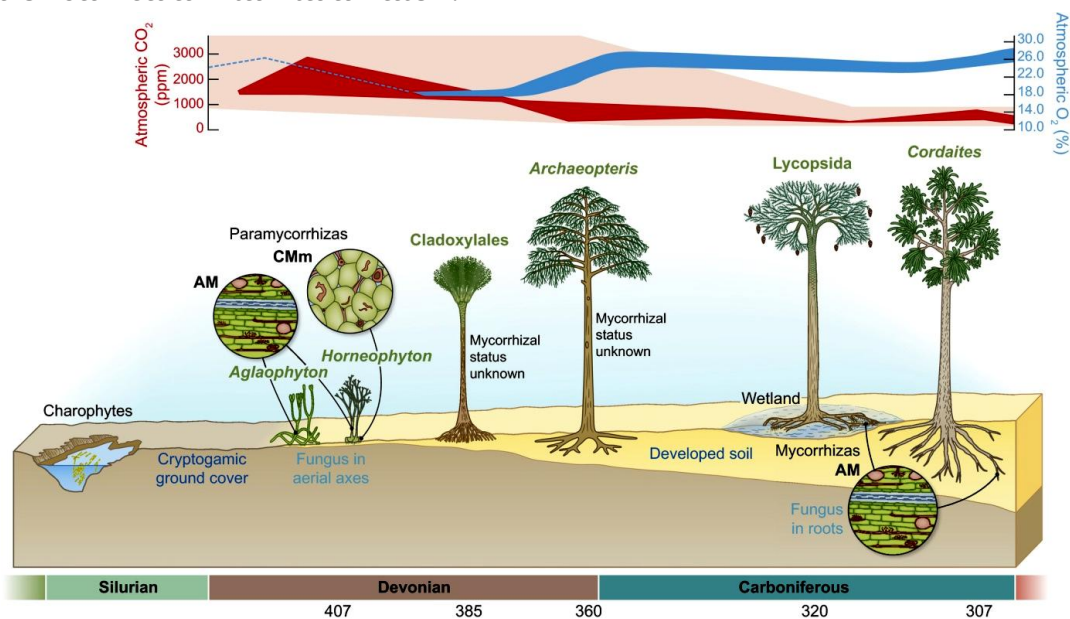


(illusztráció forrása: www.sciencephoto.com/media/168509/view/artist-s-impression-of-a-carboniferous-forest)



(forrás: (forráa: Richard Bizley/Tudományos Fotótár, www.bizleyart.com/gallery/image?format=raw&type=img&id=222, és hu.pinterest.com/pin/549368854542240178/)

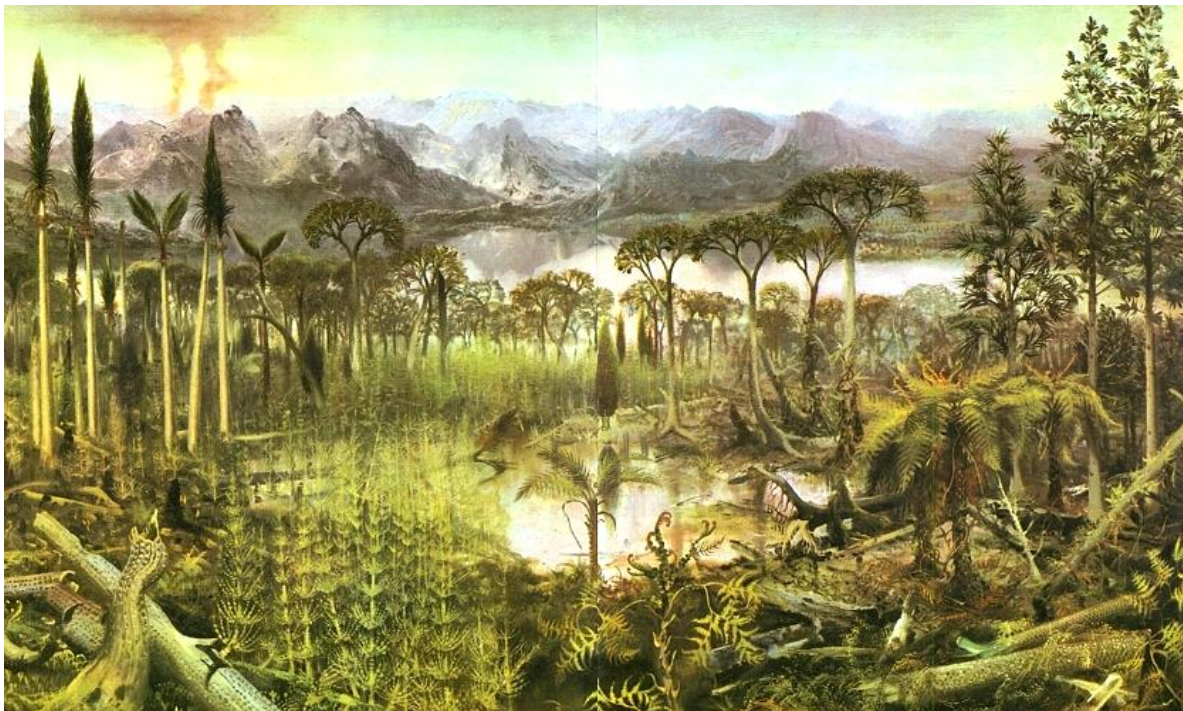
Karbonkor, mocsaras táj mintegy 360-300 millió évvel ezelőtt. A bal alsó sarokban egy Arthropleura millipede. A képen a különböző növények fajok: a pikkelyes lepidodendronok, azaz pikkelyfák, (magas növények, néhány messze a jobb felső sarokban), balközben Cordaites gymnosperms, balra egy fiatal Lepododendron fa, és a tó partján, jobb felső sarokban calamiták találhatók.



(forrás: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.15076>)



(forrás: www.deviantart.com/plioart/art/Carboniferous-period-360560036)



(Illusztráció: Zdenek Burian: Élet az ember előtt, Gondolat kiadó 1976.)

A karbon időszakban, a különböző korpafüvekből - mint például a magas törzsű korpafű (Ciclostigma), és a pikkelyfa (Lepidodendron) - valamint pecsétfákból (Sigillária), és zsurlókból (Calamites, Cordaites), a levegőszűrő levélzetű páfrányokból (Psaronius) álló erdők peremén megjelentek az első hüllők.



Pikkelyfa (Lepidodendron) és pecsétfá (Sigillaria) jellegzetes levélripacsai.

A paleozoikum vége táján a földrajzi környezet és a klíma erősen megváltozott, világszerte lehűlés következett be, amely nagymértékben elősegítették az új növényfajok és formák, az új állatvilág kialakulását. Eltűntek a hatalmas karbon időszaki erdők, s a halakban, kételtűekben oly gazdag mocsarak, helyüket szárazabb területek foglalták el. Mindez kedvezett a szárazföldre tökéletesen alkalmazkodó hüllők kialakulásának.



(forrás: prehlife.weebly.com/masato-hattori1.html)

A késő devon idején a világtenger szintje csökkent, a karbonban azonban ez a folyamat visszafordult, új tengerek keletkeztek és ekkor jöttek létre a mississippi korszak szénlerakódásai. A déli pólus ugyanakkor lehűlt: a Gondwana őskontinens déli része a karbon idejére eljegesedett, bár lehet, hogy a jégtakaró a devonban keletkezett és ez maradt fenn. A trópusok buja széntermelő mocsaraira azonban mindennek semmilyen hatása nem volt.

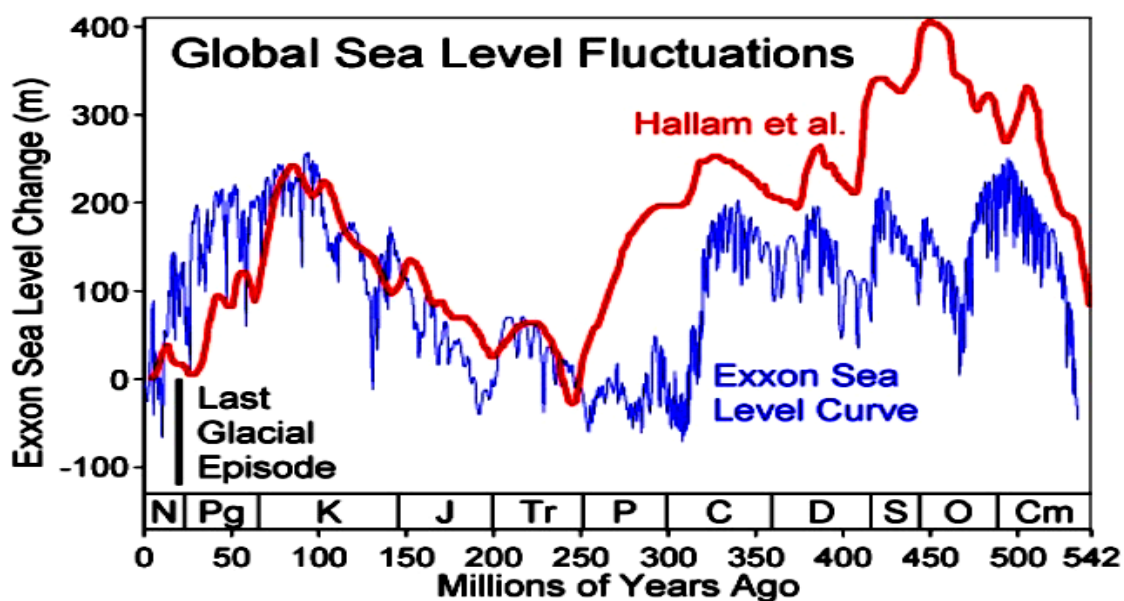


(forrás: slideplayer.com/slide/8347521/)



(illusztráció: Smithsonian Institution, <https://ocean.si.edu/through-time/carboniferous-snails>)

A karbon közepén ismét csökkent a tengerek szintje, ami a tengeri fajok jelentős kihalását idézte elő, ami főleg az ammoniteszeket és a crinoideákat érintette súlyosan.



Raja Sahil Basha (rsbanna@web.de) & Daily Planet Media (www.dailyplanetmedia.com)

(forrás: image.slidesharecdn.com/climate-crisis-clusterfuck2712/95/climate-crisis-clusterfuck-43-728.jpg?cb=1185754785)

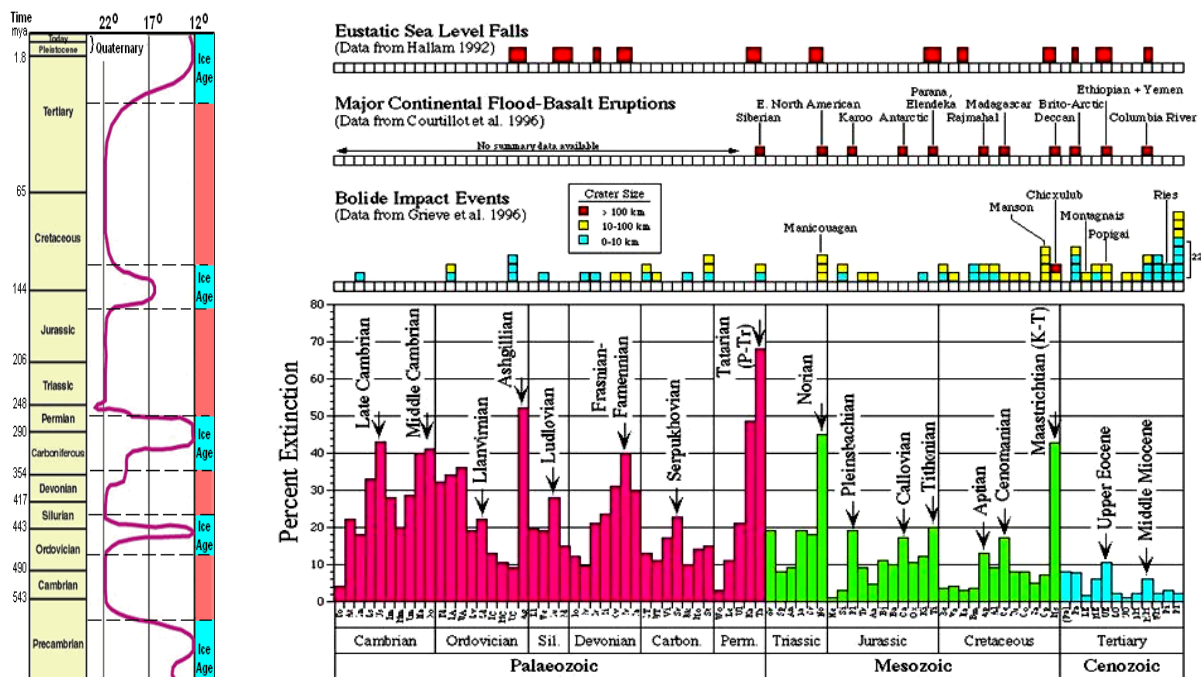


(forrás: wall.alphacoders.com/big.php?i=778298&lang=Swedish)

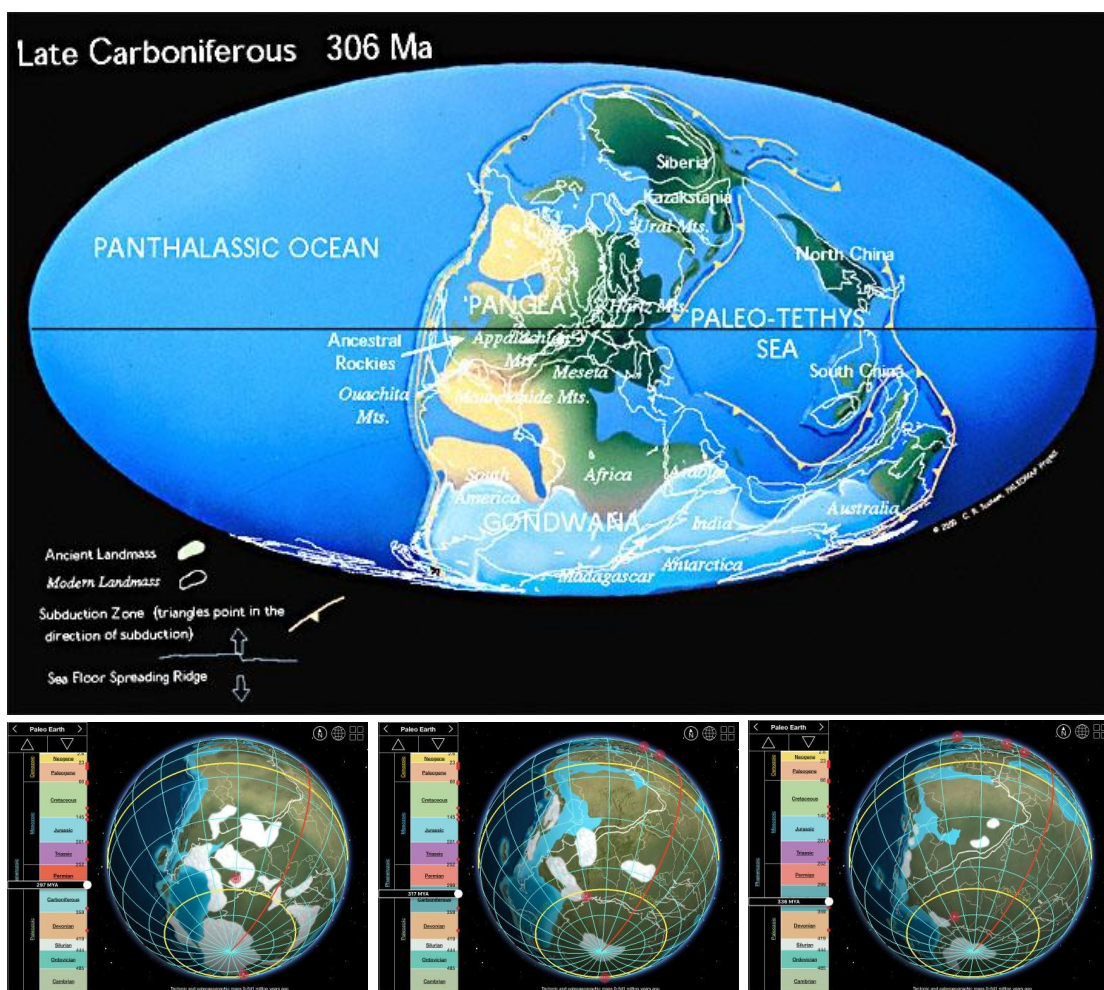


(illusztráció forrása: www.extra-life.de)

Az éghajlat térben és időben igen változatos volt. A déli félgömbön a permokarbon jégkorszak is elkülöníthető, mégpedig 325-250 millió évvel ezelőtt. Az emiatt végbement nagyfokú fajkihalás nyomán az időszak végére az akkori felmelegedéssel párhuzamosan megjelentek a dinoszauruszok.



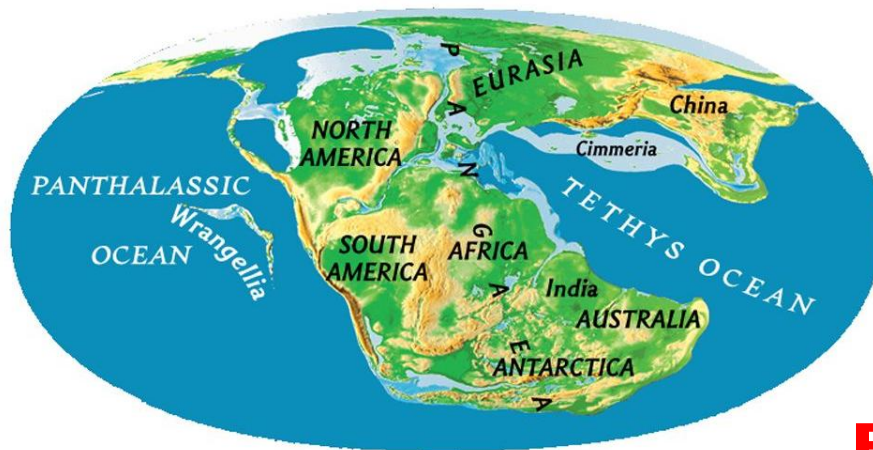
(forrás: slideplayer.com/slide/5044180/16/images/50/Mass+Extinction+Probable+Causes.jpg)



(forrás: www.biointeractive.org/classroom-resources/earthviewer és www.biointeractive.org/professional-learning/educator-voices/earthviewer)



(forrás: news.softpedia.com/news/This-is-What-Happens-With-Earth-039-s-Glaciers-81872.shtml)



Pangea

(forrás: Artwork showing the Earth at the time Pangaea broke up, credit: Mikkel Juul Jensen/Bonnier, <https://quatrevingtans.net/2015/01/>,

Pangea (vagy Pangaea) a 320–150 millió évvel ezelőtt (korai karbon – késő jura) az a szuperkontinens, amely a paleozoikum és mezozoikum korszakokban létezett és amelyből a lemeztektonikai mozgások révén kivált minden mai kontinens. A nevet először a német Alfred Wegener használta, aki 1912. január 6-án a frankfurti Senckenberg Naturmuseumban ismertette elméletét a Német Földtani Társulat számára a Pangea szuperkontinensről, amely évmilliók folyamán részekre tagolódott, majd a darabok – mozgásuk révén – mai helyükre kerültek.

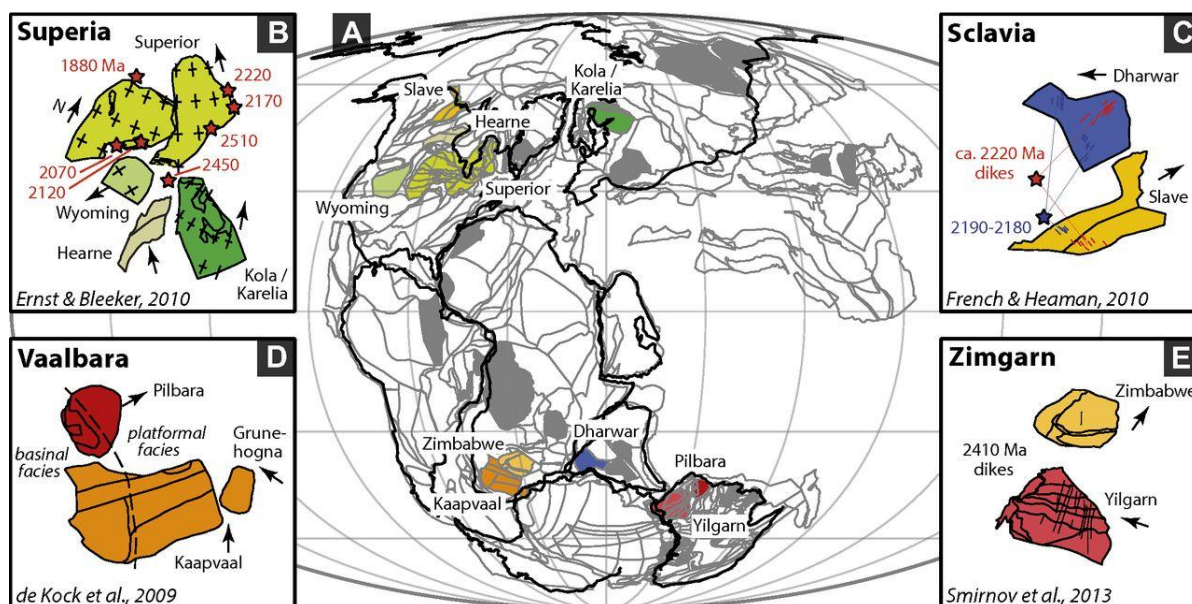
A szárazföldi állatok a Pangeán („az egész föld”) keresztül gyakorlatilag a mai Északi-sarktól a Déli-sarkig szabadon vándorolhattak.

A szuperkontinens körbefogó ósóceán a Panthalassza nevet kapta.

Nem a Pangea volt az első szuperkontinens. A fellelhető bizonyítékokból a rekonstruálták a 600 millió évvel ezelőtt létrejött, Pannotiának nevezett elődjét, ami 50 millió évig létezett. Egy másik, a Rodinia egy még korábbi lehetséges szuperkontinens, kb. 1,1 milliárd évvel ezelőtt születhetett és 750 millió évvel ezelőtt töredezett szét.

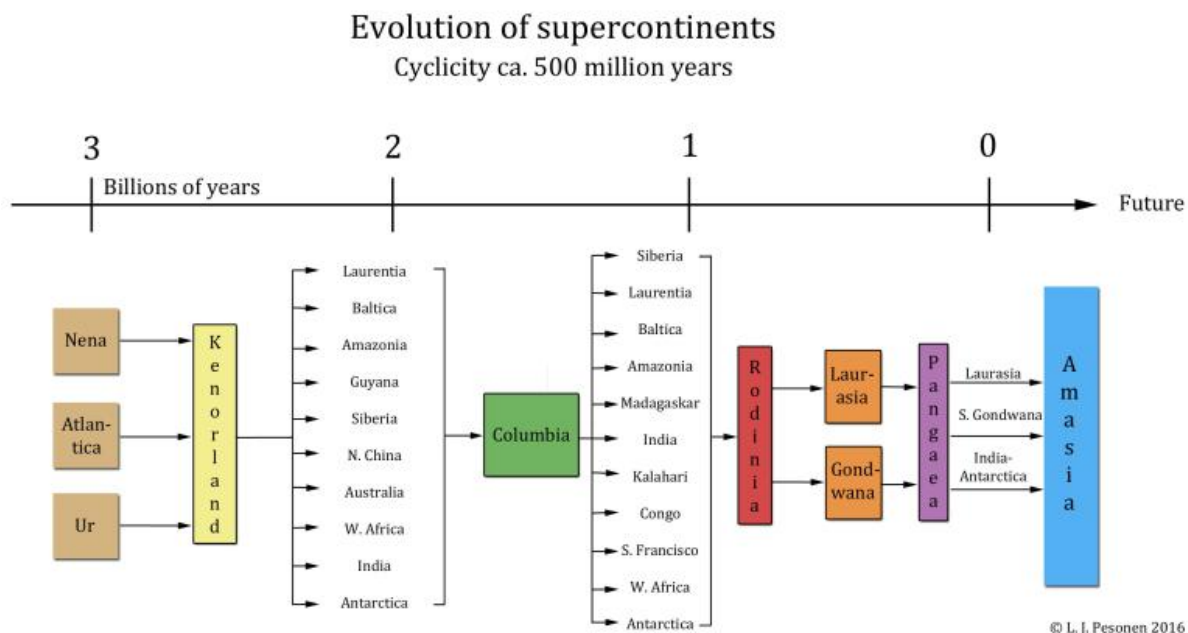


(www.blogs.unicamp.br/geofagos/2009/01/22/um-desafio-parte-final-aquecimento-global-antropogenico-ou-nao-uma-questao-ainda-sem-resposta/)



(forrás: Reconstructing pre-Pangean supercontinents, David A.D. Evans, Department of Geology & Geophysics, Yale University, New Haven, Connecticut 06520, USA, <https://doi.org/10.1130/B30950.1> és bulletin.gsapubs.org/content/125/11-12/1735/F6.large.jpg és bulletin.geoscienceworld.org/content/125/11-12/1735.full.pdf)

A térképen a Pangea előtti őskontinensek maradványai láthatóak a szuperkontinensbe épültek a Föld legősibb kőzeteit megőrizve.



(ábra forrása: Lauri Pesonen, The Supercontinent cycle. During the history of the Earth, continents have several times collected together as supercontinents and again broken down to smaller parts, <https://timetrek.aikavaellus.fi/timetravel/1800-1500/>).



(forrás: www.wallpaperflare.com/lava-flood-near-sea-illustration-nature-rocks-volcano-smoke-wallpaper-pbirx)

Illusztráció, ~500 millió évvel korábbi helyszínek lehetséges képei.



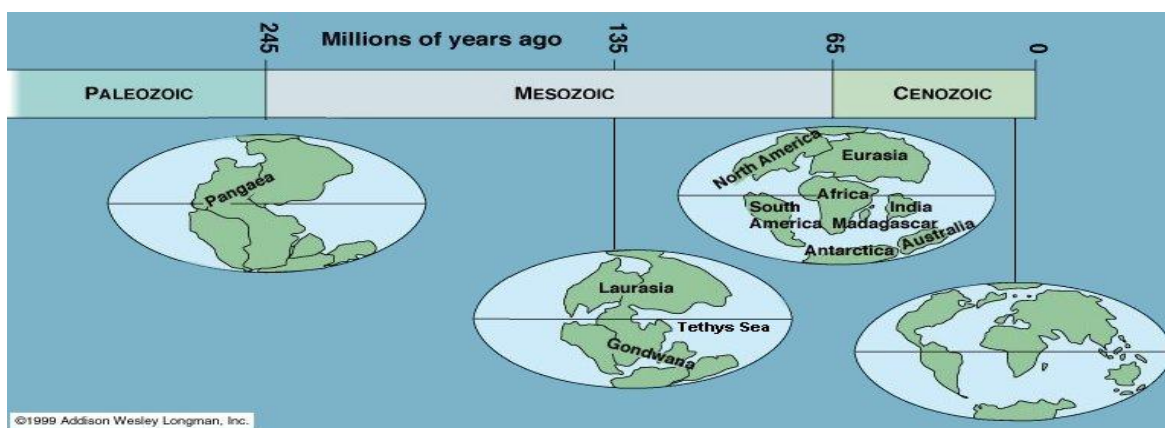
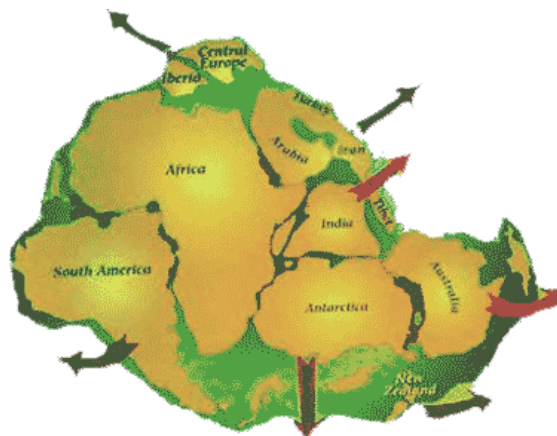
(forrás: www.researchgate.net/figure/Configuration-of-Nuna-Hoffman-1997-and-its-precursor-Nena-Rogers-1997-Modified-from_fig3_259366715)

Amikor a Pangea a jura korban széttört, két kontinens alakult ki: West-Gondwana és Laurázsia.

A Gondwana középső, illetve az alsó jura korok idején kezdett széttörni (mintegy 167 millió évvel ezelőtt), amikor a keleti része (a mai Antarktisz, Madagaszkár, India és Ausztrália) elkezdtek leszakadni Afrikáról.

Afrika másik oldalán Dél-Amerika tömbje lassan nyugat felé sodródott, így mintegy 130 millió évvel ezelőtt (kora kréta) megkezdődött az Atlanti-óceán déli részének kialakulása és 110 millió éve Afrika és Dél-Amerika közt már tenger hullámozott.

A kelet felé sodródó tömb maga is széttöredezett: 90 millió éve, a késő kréta időszakban India megkezdte északi irányú mozgását.

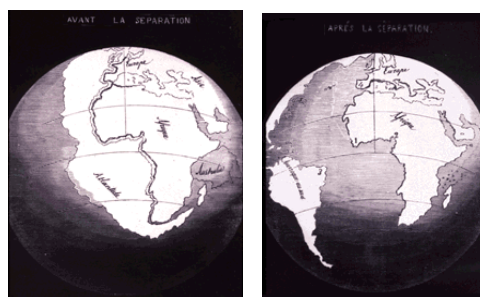
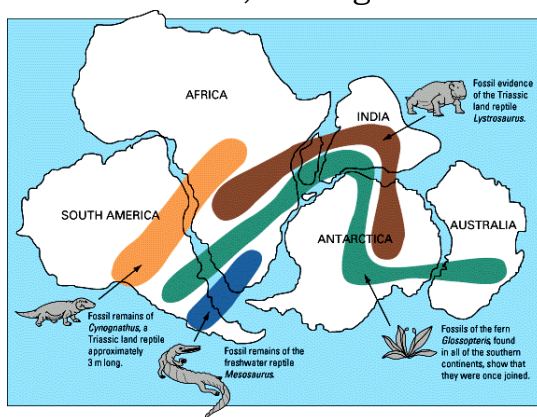


(forrás: publish.illinois.edu/alfredwegener/)

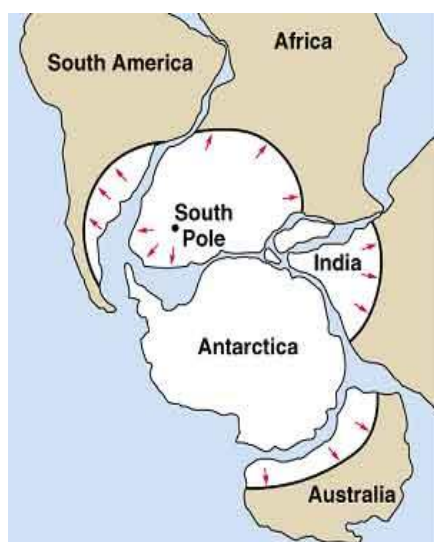
(Animáció: www.facebook.com/watch/?v=1592482090797564)

Francis Bacon már 1620-ban felhívta a figyelmet arra, hogy a kontinensek partvonalai helyenként hasonlítanak egymáshoz, az egyes földrészek „összeilleszthetők”.

A kontinensek mozgásának gondolatát Frank Bursley Taylor vetette fel először az 1908-as Geological Society of America találkozón és 1910 júniusában megjelentette erről szóló munkáját a GSA Bulletinben. Egyes geológusok a déli féltekén már 1900 körül felfedezték azt is, hogy a déli kontinensek fossziliái és geológiai formációi (rétegtani) hasonlóságokat mutatnak. Az 1960-as évekbe formálódott ki az Alfred Wegener (1880-1930), a német meteorológus, klimatológussal és geofizikus nevéhez kapcsolódó elmélet, miszerint a kontinensek valaha (körülbelül 200 millió évvel ezelőtt) egyetlen földrészt, az úgynevezett Pangeát alkották, mely az idők folyamán feldarabolódott, és megkezdődött a mai kontinensek vándorlása, kialakulása.



(forrás: pubs.usgs.gov/gip/dynamic/historical.html#anchor9588978)

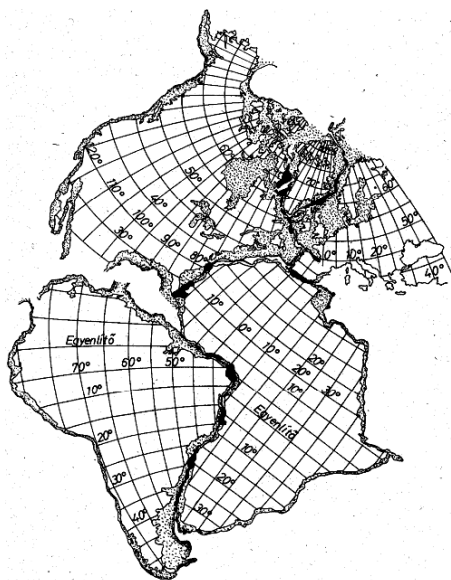


Antonio Snider-Pellegrini (1802–1885) francia geográfus és Wegener megjegyezte, bizonyos fosszilis növények és állatok elhelyezkedése a mai, elkülönült kontinenseken határozott mintákat képez a 200 millió évvel ezelőtti Pangeát alkotó kontinens területeken. A Gondwana-rétegsorok jellegzetes tillit (üledékes kőzet, amely teljesen rétegtelenül osztályozatlan moréna üledékeket tartalmaz) rétegei arra utalnak, hogy a karbon és a perm időszakban Dél-Amerikában, Afrika, India és Ausztrália déli részén, valamint az Antarktiszon hatalmas eljegesedés volt.

(thisoldearth.net/Geology_Online-1_Subchapters.cfm?Chapter=3&Row=2)

A permokarbon eljegesedés magyarázata Alexander Logie du Toit (1878-1948) dél-afrikai geológus szerint, mivel a tapasztalat hogy a Földön a különböző éghajlatú területek eloszlása a földrajzi szélesség függvénye és tekintélyes vastagságú jégtakaró csak a sarkkörökön belül képződhet, ez bizonyítja, hogy a kontinensek vándorolnak.

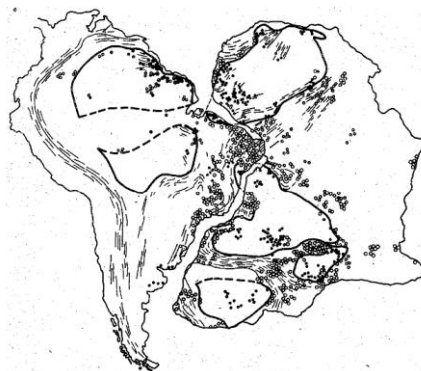
Mivel a tengerek vízszintje a földtörténeti idők alatt különböző okok miatt változik, emiatt jelentősen megváltozhat a kontinensek partvonalainak alakja is. Ha tehát a kontinensek ilyen módon értelmezett széleit – vagyis magukat a partvonalakat – toljuk egymás mellé, akkor még abban az esetben sem kaphatunk tökéletes illeszkedést, ha a kontinensek valóban egyetlen tömbből származnak.



Célszerű tehát nem a partszegélyeket, hanem a kontinensek valódi széleit, az úgynevezett selfek vonalát illeszteni. Ez pedig az a rész, ahol a sekélytengeri részek átmennek a mély óceáni területekbe – azaz a kontinentális lejtő területe. Ennek megfelelően Sir Edward „Teddy” Crisp Bullard (1907–1980) angol geofizikus és munkatársai a kontinenseket úgy igyekeztek egymás mellé helyezni, hogy a területeik közötti hézagok és átfedések a lehető legkisebbek legyenek. Ezt a minimum-feladatot a legkisebb négyzetek módszerét felhasználva – a lehetőségek igen nagy száma miatt – számítógéppel oldották meg.

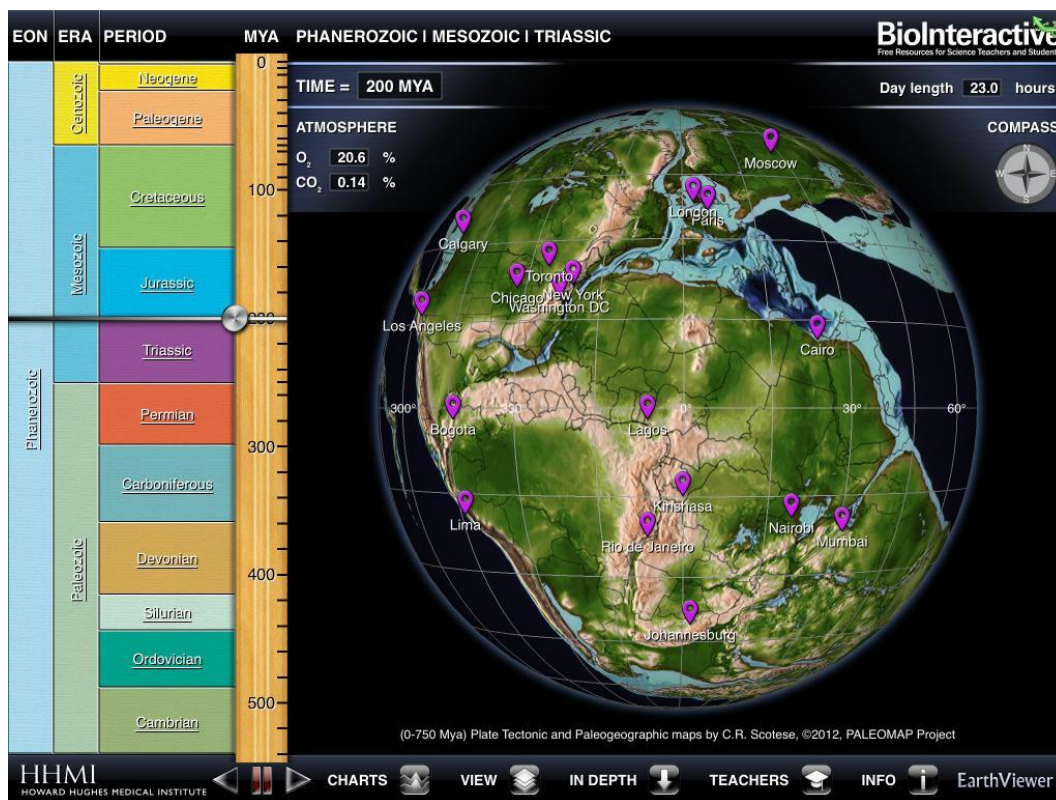
A Bullard-féle kontinens rekonstrukció.

Az utóbbi évtizedekben a különböző kontinenseken hatalmas mennyiségű kőzetmintán végeztek radioaktív (abszolút) kormeghatározásokat. A vizsgálatok során minden kontinensen hatalmas kiterjedésű 2000 millió éves, vagy ennél is idősebb kontinentális magokat (pajzsokat) találtak, amelyeket viszonylag éles határvonal választ el az őket körülvevő jóval fiatalabb korú képződményektől.

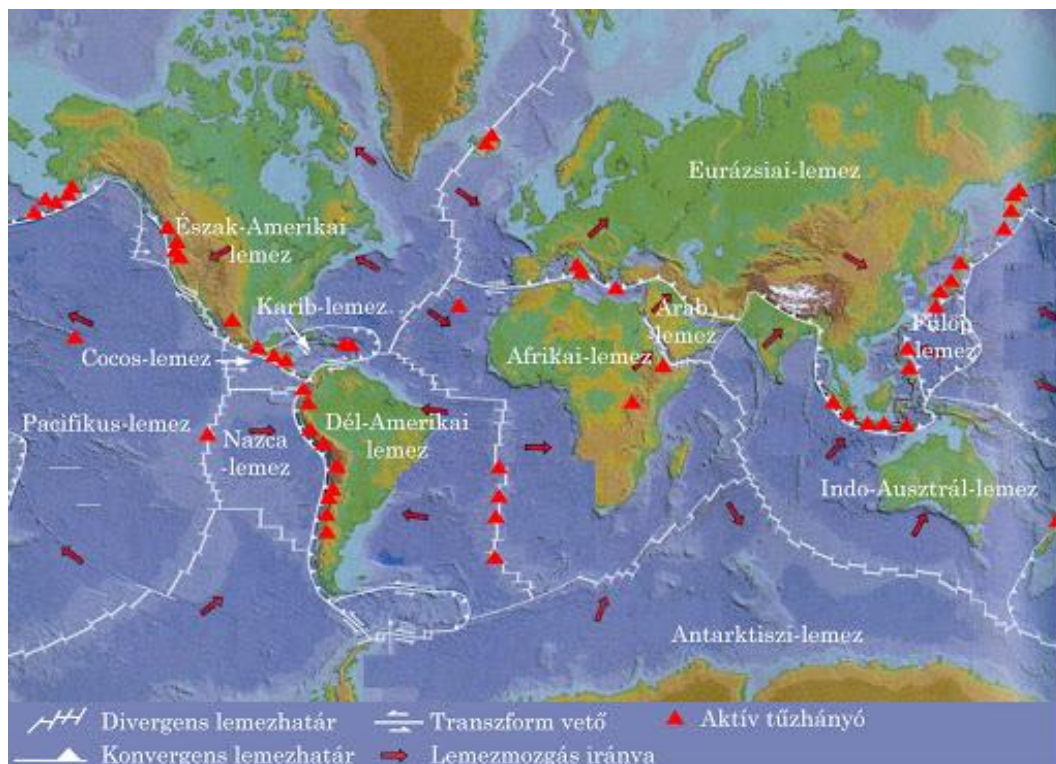


Abban az esetben, amikor az egyik kontinensen olyan nagyobb szerkezeti határvonalat találunk, amely két oldalán ilyen eltérő korú kőzetek vannak és ez a határvonal a partvonallal nem párhuzamosan halad, akkor a két kontinens közös származása esetén ennek a határvonalnak folytatódnia kell a másik kontinensen. Az ábra pl. az afrikai és a dél-amerikai abszolút kormeghatározások eredményeit mutatja. Az ábrán a fekete pontokkal jelölt helyeken 2000 millió évesnél idősebb kőzetek, az üres körökkel jelölt helyeken pedig 2000 millió évesnél fiatalabb kőzetek találhatóak. A vastag vonallal körülhatárolt területek az ősi kontinentális magok, míg a vékony vonalak földtani szerkezeti irányokat jelölnek.

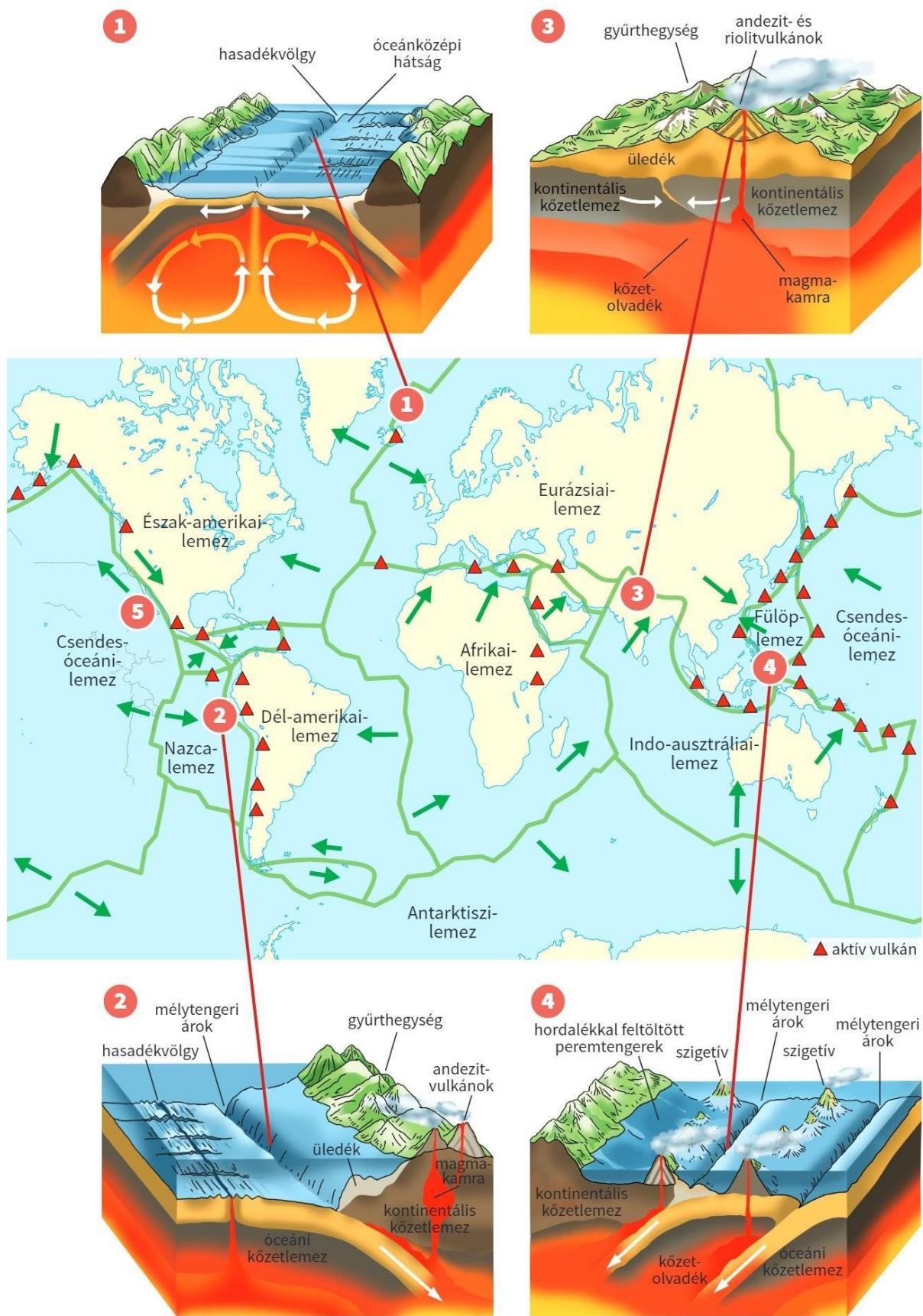
(forrás: www.agt.bme.hu/volgyesi/mszeizmo/tektonika.pdf)



(forrás: www.biointeractive.org/classroom-resources/earthviewer és www.biointeractive.org/professional-learning/educator-voices/earthviewer)



(forrás: tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyeztan9/www/out/html-chunks/ch07s03.html) Lemeztektonika mai térképe



(forrás: tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/out/html-chunks/ch07s03.html) Lemezhatár típusok

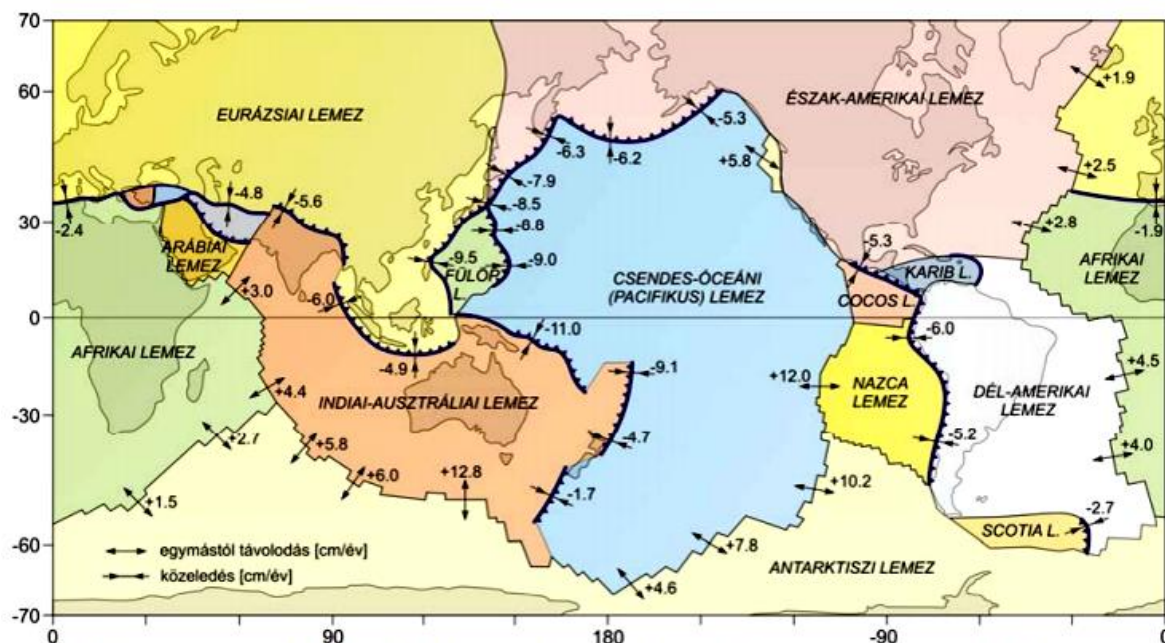
A lemeztektonika a Föld litoszférájának nagy léptékű mozgásait magyarázza. A Föld külső része alapvetően két rétegből épül fel:

Felül helyezkedik el a litoszféra, amely a földkéregből, illetve a földköpeny felső, szilárd részéből áll.

A litoszféra alatt fekszik az asztenoszféra, amely az emelkedő hőmérséklet ellenére még mindig szilárd, de mégis van egy minimális viszkozitása és a földtörténet időléptékében folyadékként viselkedik.

A litoszféra tektonikai lemezeknek nevezett darabokra töredezett, ezekből a Földön hét nagyot (Antarktiszi-lemez, Csendes-óceáni-lemez, Dél-amerikai-lemez, Észak-amerikai-lemez, Afrikai-lemez, Eurázsiai-lemez (ez két összeforrt lemezből áll, az Európai-lemezből és az Ázsiai-lemezből, amelyek szintén több ősmasszívumból álltak össze), Ausztrál-Indiai-lemez.) és sok kisebbet ismerünk (Hellén-Török-lemez, Iráni-lemez, Arábiai-lemez, Juan de Fuca-lemez (Oregontól nyugatra), Karibi-lemez). A hét nagyobb lemez hat kontinenst hordoz és egy hatalmas óceánt. A lemezek szegélyeit árkos törések és/vagy hegységek alkotják. (ez, Nazca-lemez, Kókusz-szigeteki-lemez, Scotia-lemez, Fülöp-lemez).

A Föld tektonikai lemezeit a 20. század második felében térképezték fel.



(forrás: www.agt.bme.hu/volgyesi/mszeizmo/tektonika.pdf)

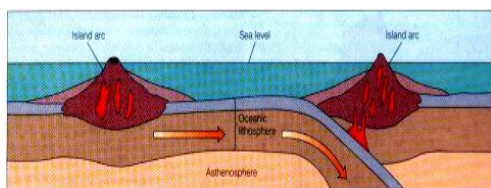
A nagyobb litoszférolemezek egymáshoz viszonyított mozgási sebessége.

E lemezek az asztenoszférában úsznak. A lemezek vízszintes irányú mozgásának sebessége tipikusan évi 0,66-8,5 centiméter. A mozgás sebessége nagyon változó lehet. A Dekkán mintegy 40 millió év alatt 6000 kilométert tett meg, míg a Csendes-óceáni-lemez 50 millió év alatt 3000 km-t.

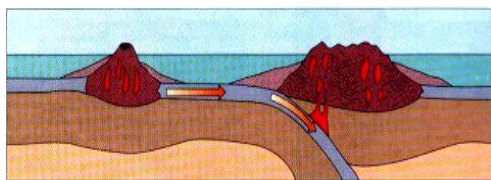
A litoszféralemezek szegélyvonalai mentén kétfajta olyan különös helyszín található, ahol a Föld jellegzetes felszíni formái kialakulnak és a legjelentősebb tektonikai folyamatok lejátszódnak. A földfelszín egyik ilyen különös helyszíne az óceáni hátságok gerincvonala - ahol állandóan új földkéreganyag születik, a másik pedig a szubdukciós zónák - ahol a hátságok gerincvonalánál született litoszféralemez néhány száz, de inkább néhány ezer km-es vándorlás után ismét a földköpeny mélyebb részeibe merül.

Mai ismereteink szerint a lemeztektonika a Föld történetének legalább 200 millió évre érvényes, mivel egyrészt valamennyi óceán fenékanyaga ebben az időben képződött, másrészt a kontinensvándorlás elmélete szerint az őskontinens feldarabolódása és szétvándorlása is legalább 200 millió éve kezdődött el. Ezekből azonban nem feltétlenül következik, hogy a lemeztektonika csak erre az időre érvényes. Ha elfogadjuk, hogy a hosszú, keskeny, jól definiált hegységképződési övek a kontinentális területek ütközése mentén keletkeztek, akkor a lemeztektonika legalább az elmúlt 570 millió évre alkalmazható.

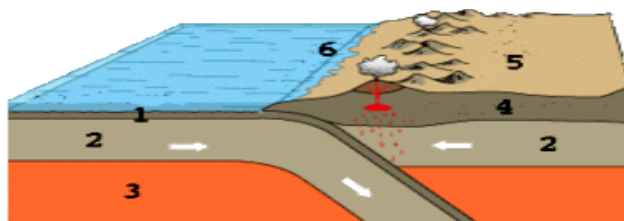
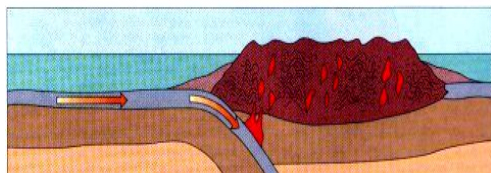
A 2-2.5 milliárd évesnél idősebb, jól kivehető hegységképződési zónák hiánya viszont azt sejteti, hogy az ez előtti időszakban valamilyen más, a lemeztektonikától eltérő mechanizmus felelős a földkéreg fejlődéséért. A kontinensek belsejében található 2 milliárd évesnél idősebb kőzeteket tartalmazó ősi pajzsok olyan széles területeken és annyira szétszórtnan tartalmaznak gyűrt szerkezeteket, hogy ezek keletkezését nem tudjuk a lemeztektonika segítségével megmagyarázni. Elképzelhető, hogy a pajzsok területe valamikor 2-2.5 milliárd évvel ezelőtt töredezett szét először és akkor kezdtek kifejlődni az akkori lemezek mozaikjai.



(a)



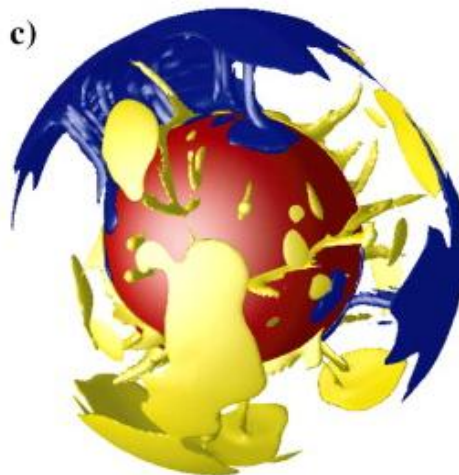
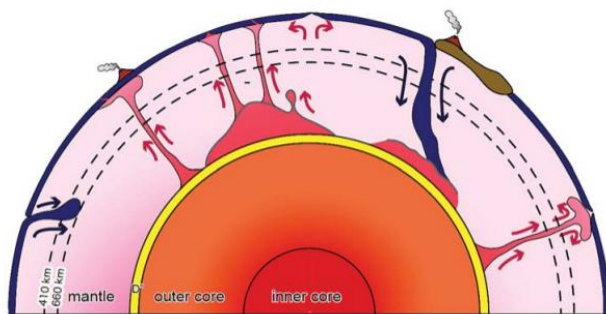
(b)



1. óceáni kéreg
2. litoszféra
3. asztenoszféra
4. kontinentális kéreg
5. vulkáni szigetív
6. mélytengeri árok

Az óceáni kéreg betolódása a kontinentális kéreg alá.

(forrás: blank005.tripod.com/geology/deformation.html)



(forrás: glu.elte.hu/~statfiz/eloadasok/2013-05-22-Horvath-MagyGeofWegener.pdf)

(www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012821X07004761)

Az új dinamikus földmodell vázolata, amely a globális szeizmikus tomográfia a eredményeire támaszkodva mutatja a köpeny/mag határról (D" réteg) felfelé induló hő- és anyagáramlásokat, valamint a lefelé süllyedő (hideg) litoszféranyelveket. Ezek sokszor nehezen tudnak átjutni a 410 és 660 km mélységben lévő, fázisátmenetekkel jellemzett köpenycsatornán, de általában eljutnak a köpeny aljára (Coffi n et al. 2006).

A lemeztectonika elmélete szerint a Földünk felszíne hat nagy és több kisebb, kb. 60-120 km vastagságú litoszféralemezre osztható. Ugyanazon litoszféralemezek általában kontinentális és óceáni területeket egyaránt magukban foglalhatnak. Ezek a közel merevnek tekinthető lemezek egymáshoz viszonyítva mozognak. Közöttük három különböző mozgásforma lehetséges: két lemez vagy távolodik egymástól, vagy szembe mozog egymással, vagy elcsúszik egymás mellett.

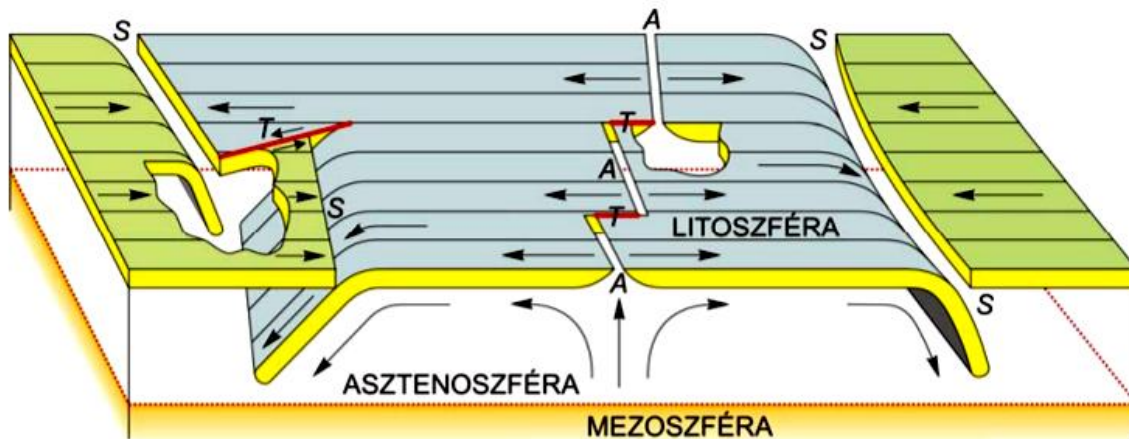
Az első mozgásforma esetén az egymástól távolodó lemezszegélyek mentén a litoszféralemezek alatt levő asztenoszférából állandóan új kőzetanyag tör a felszínre és nő hozzá a lemezszegélyekhez. Ezek az akkréciós (növekedő) lemezszegélyek.

A második mozgásforma esetében két lemez szembe mozog egymással. Attól függően, hogy milyen típusú lemezek ütköznek, két alapeset lehetséges. Amikor kontinentális lemez ütközik óceáni lemezzel, akkor az óceáni lemez a kontinentális terület alá bukik, lehatol több száz km mélységbe, majd feloszlik az asztenoszféra anyagában. Ha azonban két kontinentális lemez ütközik, akkor ennél lényegesen bonyolultabb kép alakul ki, mivel egyik lemez sem tud a másik alá hatolni. Ekkor olyan zóna jön létre, ahol a kőzetek összenyomódnak, meggyűrődnek, összetöredeznek, hatalmas alá- és föléltolódások alakulnak ki. Az egymással szembe mozgó lemezek határai a konzumációs lemezszegélyek, illetve az alátolódó lemezek esetében más néven a szubdukciós zónák.

Ezeken a területeken találhatóak a mélytengeri árkok, ezekkel párhuzamosan helyezkednek el az aktív szeizmikus és vulkáni övek és itt találhatóak az orogén (hegységképződési) övek is.

A harmadik mozgásforma két lemez között a közeledés vagy a távolodás nélküli horizontális elcsúszás, a transzform vetődés.

Az egyes litoszféralemezek belső részei tektonikai szempontból nyugodt területek,



(forrás: Prof. Dr.Völgyesi Lajos geofizikus, egyetemi tanár, akadémikus, Geofizika. Műegyetem Kiadó, Budapest, 2002., www.agt.bme.hu/volgyesi/mszeizmo/tektonika.pdf)

A különféle lemezszegélyek és mozgásformák vázlatos képe látható az ábrán; ahol A az akkréciós lemezszegélyeket, S a szubdukciós zónákat és T a transzform vetődéseket jelöli.

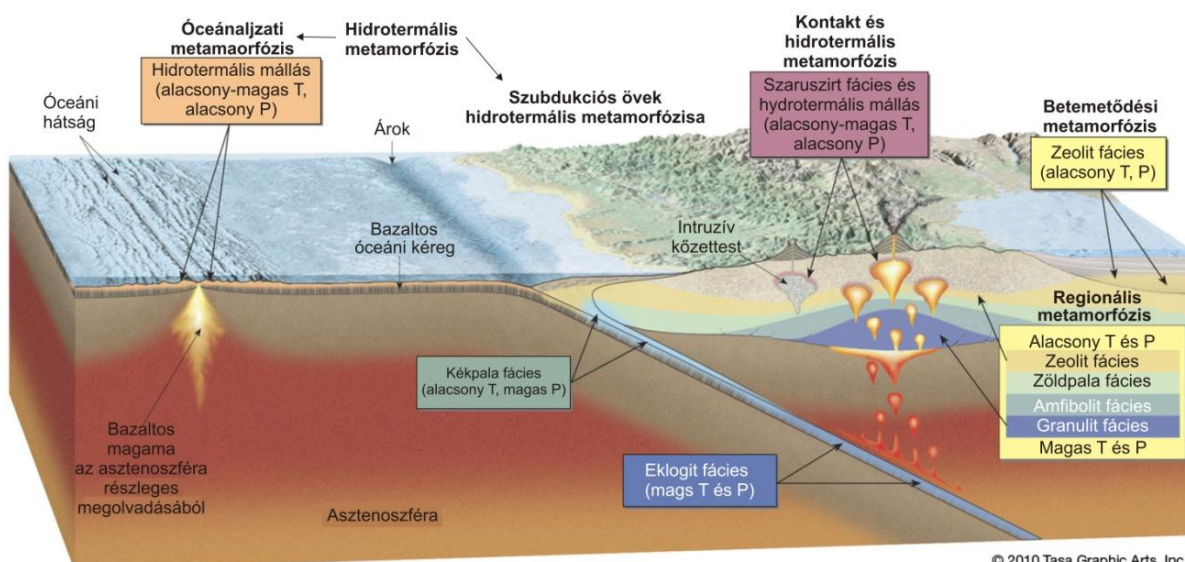
A Föld kérge és a felső köpenyének egy része összefüggő és együttmozgó részt alkot, amelyet litoszféralemezeknek nevezünk. A lemez elnevezést részben a merevségük, részben pedig az indokolja, hogy ezek vízszintes kiterjedése legalább tízszerese, de több esetben néhány százszorosa a vastagságuknak. A litoszféralemezek alatt levő több száz km vastag és igen kis merevségű övet asztenoszférának hívjuk, míg a földköpeny fennmaradó részét, amely ismét nagyobb merevséggel rendelkezik és a tektonikai folyamatokban már nem vesz részt, mezoszférának szokás nevezni.

Geotektonikai szempontok szerint a Föld felszíne három fő egységre osztható: a kontinentális területekre, az óceáni területekre és a partmenti tengerek területére.

A kontinentális területek kontinentális pajzsokra, orogén területekre és nemorogén területekre oszthatók. Az óceáni területek óceáni medencékre, óceáni hátságokra és mélytengeri árkokra oszthatók. A harmadik fő szerkezeti egység a partmenti tengerek (az ívközi medencék) területe. Ennek két típusa van: az egyiket kontinensek fogják közre, a másikat szigetívek választják el a nyílt óceántól.

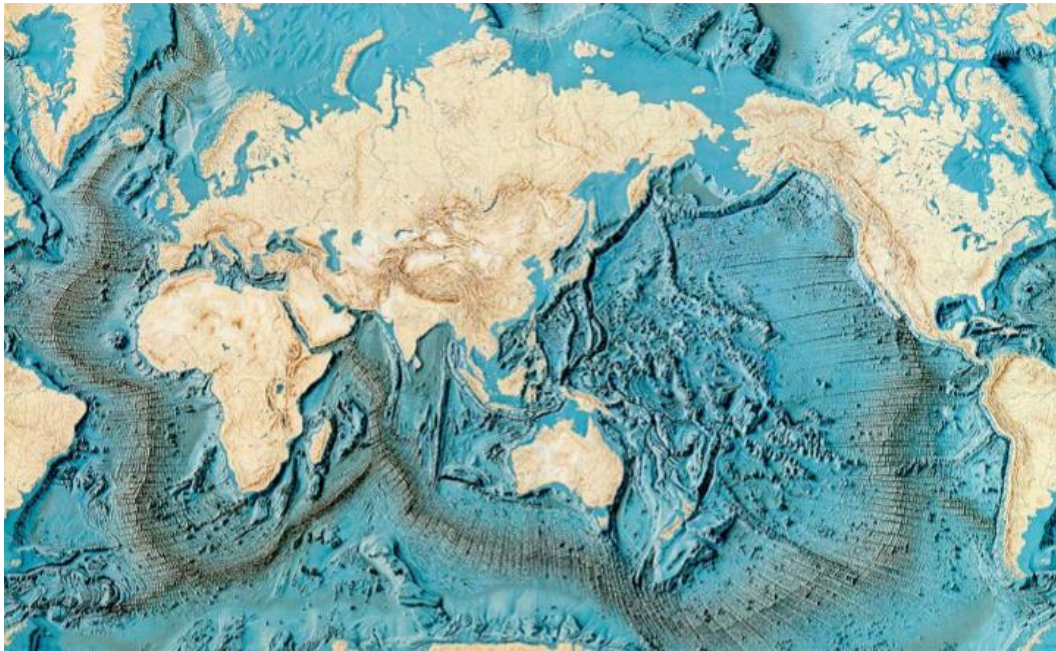
A földkéregben a metamorf folyamatok hatására, az átkristályosodás mellett, megváltozik a kőzetek eredeti (relikt) és újonnan keletkező metamorf ásványainak irányítottasága, geometriai elrendeződése, azaz a kőzet szerkezete, illetve szövete is. A metamorfózis valójában szilárd fázisú átkristályosodás. A legtöbb üledékes kőzetben a leülepedés után, a betemetődés előrehaladtával megkezdődnek a fázisátalakulások, mely folyamatot diagenézisnek nevezik.

Óceánaljzati metamorfózis – Az óceáni kéregrészen, az óceáni hátságok aktív vulkáni környezetében és egyéb tengeralatti vulkanizmus során lejátszódó hidrotermális metamorf folyamat. A fő hatótényező elsősorban a leszivárgó és felmelegedő tengervíz okozta metasomatózis, amihez a mélységgel fokozatosan együttjáró hőmérséklet és nyomásnövekedés járul. Elsősorban ultrabázisos és bázisos magmás kőzetek zeolit-, zöldpala- illetve maximálisan amfibolit fáciesű átalakulása zajlik. **Szubdukciós övek hidrotermális metamorfózisa** – Az orogén övek magmás folyamataival kapcsolatos hidrotermális tevékenység szintén okozhat metamorfózist az alábukó óceáni kéreg kőzetein. **Aktív geotermális területekhez kapcsolódó metamorfózis** – A hidrotermális metamorfózis egyes magas hőfluxusú területeken is hat, ahol a vulkáni-utóvulkáni folyamatokhoz kapcsolódóan a fluidumok is nagy szerepet játszanak a magas hőmérséklet (és esetleg nyomás) mellett a kőzetek átalakításában.



(forrás: Kovács János: Metamorfózis, metamorf kőzetek, tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezzettan9/www/out/html-chunks/ch06.html)

A metamorfózis típusai a különböző lemezttektonikai helyzetekben (Tasa Graphic Arts ábrája alapján módosítva)



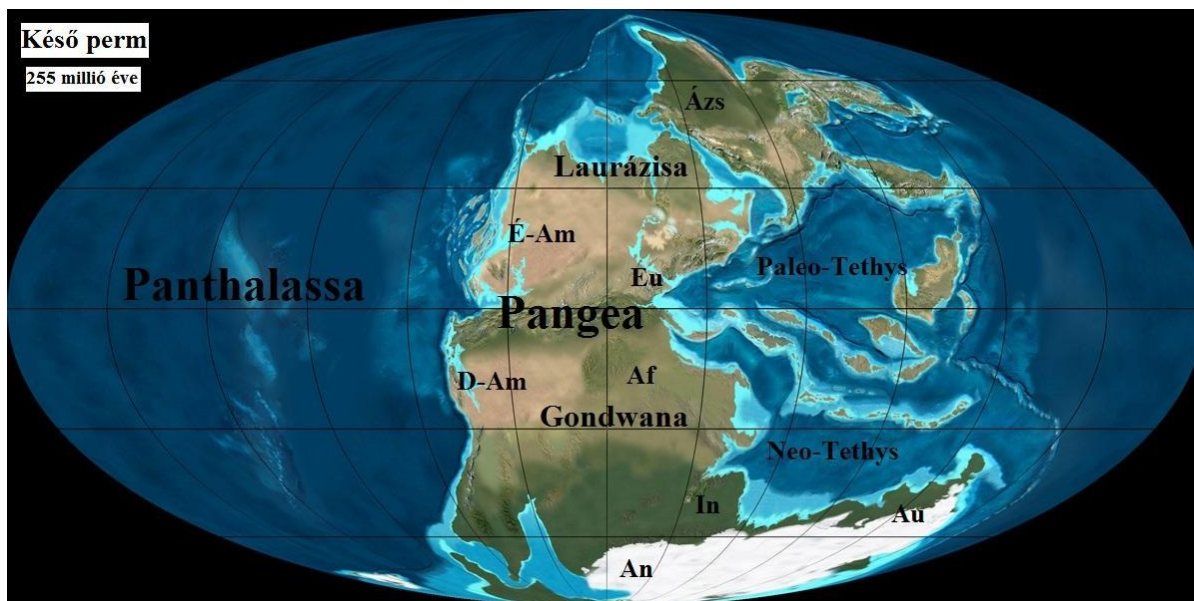
(forrás: www.agt.bme.hu/volgyesi/mszeizmo/tektonika.pdf)

Az óceánok fenekén végighúzódó világméretű hátságrendszer.

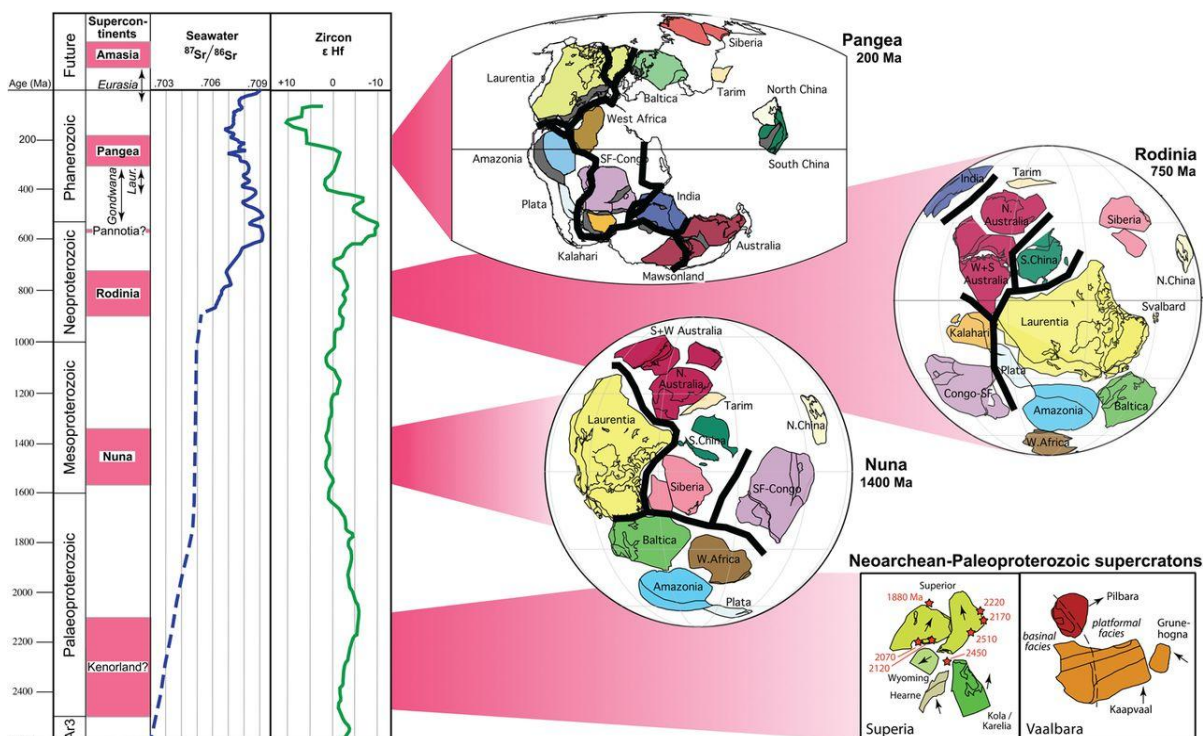
Az ábrán látható hatalmas méretű, egymáshoz kapcsolódó hátságrendszer, amely végighalad az Atlanti-, az Indiai-, és a Csendes-óceánon, valamint az Északi-Jeges-tenger alatt. Ez a Közép-óceáni – a továbbiakban röviden óceáni – hátságrendszernek nevezett, mintegy 60000 km hosszúságú, több száz km széles és az óceáni medencék 4800 m-es átlagos fenékmélysége fölé 1000-3000 m-rel kiemelkedő óriási, összefüggő szerkezet általában az óceánok középvonala mentén a partvonalakkal csaknem párhuzamosan halad. A hátságrendszer vonulatait számos, rá merőleges törés, transzform vetődés szabdalja 200-2000 km hosszúságú darabokra.

További érdekes eredményt szolgáltatott az abszolút kormeghatározások, ugyanis az óceánok alatti kőzetek feltűnően fiatalok; az óceáni medencékben sehol sem találtak 200 millió évesnél idősebb képződményeket. Ez azért meglepő eredmény, mert bizonyosan tudjuk, hogy óceánok már legalább 3 milliárd éve léteznek. 1960 körül – az addigi ismeretek birtokában – Harry Hammond Hess (1906–1969) amerikai geológus és Robert Sinclair Dietz (1914-1995) amerikai geológus, geofizikus és óceáni geográfus a Pincertoni Egyetem kutatói felvették az óceánfenék mozgásának lehetőségét. A további kutatásokban mérföldkövet jelentő cikküknek akkor még nem is minden alap nélkül a „Föld-költészet” címet adták. Ebben a publikációban találkozhatunk első ízben az „ocean-floor spreading” (az óceánfenék széttolódása) elnevezéssel. Elképzelésük szerint az óceáni hátságok középvonala mentén a Föld mélyéből anyag áramlik felfelé, amely az óceánok fenekét a kontinensek felé tolja. A széttolódó óceánfenék végül a kontinensek széleinél található mélytengeri árkokban „tűnik el”. A mechanizmus mozgató erejét a kéreg alatti magmaáramlásokban sejtették.

A perm (299 - 252 millió évvel ezelőtt) időszakban a szárazföldek egyetlen óriási méretű szuperkontinensbe, a Pangeába tömörültek.



A Pangea nagy részén kontinentális, meleg klíma uralkodott. Ez az éghajlat a magvas növényeknek kedvezett, mivel megtermékenyítésükhöz már nem volt szükség vízre. Nagymértékben elterjedtek a szárazságtűrőbb, tüvelvű ősfenyők. A száraz klíma szelekciós hatást gyakorolt a könnyen kiszáradó, vízben, átalakulással fejlődő kételtűekre is.



(forrás: sp.lyellcollection.org/content/424/1/1)

A szuperkontinenseinek alakulása a földtörténeti idővonalon ábrázolva.

A karbon és a perm határán történt a paleozoikum két nagy eljegesedési hulláma közül az egyik (a másik az ordovícium végén), amikor a déli pólus környékén, a Gondwana őskontinens részein vastag jégtakaró fejlődött. A Gondwana jelentős részét a perm kezdetén még jég borította. Az éghajlat a perm közepétől melegebbé vált, a gleccserek visszahúzódtak, a kontinensközép klímája szárazabb lett.

A tektonikát a hegységek lepusztulása jellemezte, ekkor alakult ki a vöröshomokkő összleték felső tagozata, az új vöröshomokkő. A perm időszak végén a kiszáradó lagúnákban a földtörténet legnagyobb sótelepei jöttek

A perm idején valamennyi szárazföld, kivéve Kelet-Ázsia egyes részei, a Pangea nevű szuperkontinensben egyesült. A Pangea az Egyenlítőn feküdt és kiterjeszkedett a sarkok felé, ami megszabta a nagy áramlatok útját a Panthalassa ósóceánban, illetve az Ázsia és Gondwana szárazföldi tömbjei közt elterülő Paleotethysben. Amikor Kimméria kontinens-tömbje elszakadt Gondwanától és északra, Laurázsia felé sodródott, a Paleotethys zsugorodni kezdett. Déli végén új óceán kezdett el növekedni, a tulajdonképpeni Tethys (Neotethys), amely a mezozoikum jó részében dominálni fog majd.

A tengerek szintje a perm idején alacsony volt. A sekély tengerparti élőhelyek nagysága jelentősen csökkent, attól is, hogy egyetlen kontinens alakult ki, ami hozzájárulhatott, hogy a tengeri fajok jelentős része az időszak végén kihalt.

A nagy kontinens-tömbök szélsőségesen változó hőmérsékleti viszonyokat (kontinentális éghajlat), illetve időszakos esőzéseket (monszun) teremtenek. A Pangea belső vidékein elterjedtek lehettek a sivatagok. A száraz viszonyok a nyitvatermőknek kedveztek a harasztokkal szemben, hiszen az előzők magjait burkolat védte az utóbbiak spóráival szemben. A perm idején jelentek meg az első mai fák (fenyők, ginkgók, cikászok). A hőmérsékletet tekintve hűvösebb és melegebb periódusok váltakoztak, de az éghajlat szárazabbá válásának trendje végig fennmaradt a perm során.

A permből származó tengeri üledék puhatestűek, tüskésbőrűek és pörgekarúak fossziliáiban gazdag. Kétfajta gerinctelen lény fossziliáit használják elterjedten a permi rétegek azonosítására, illetve a különböző helyeken talált kőzetek időbeli megfeleltetésére: a fusulinidákat (a foraminiferák közé tartozó páncélos protiszták) és az ammoniteszek (páncélos fejlábúak, a nautiluszok távoli rokonai).

A késő karbon idején és a perm időszak jelentős részében a csótányok primitív rokonai voltak messze a legsikeresebbek a rovarok közt. Az ekkori rovarok mintegy 90%-a volt csótányszerű.]



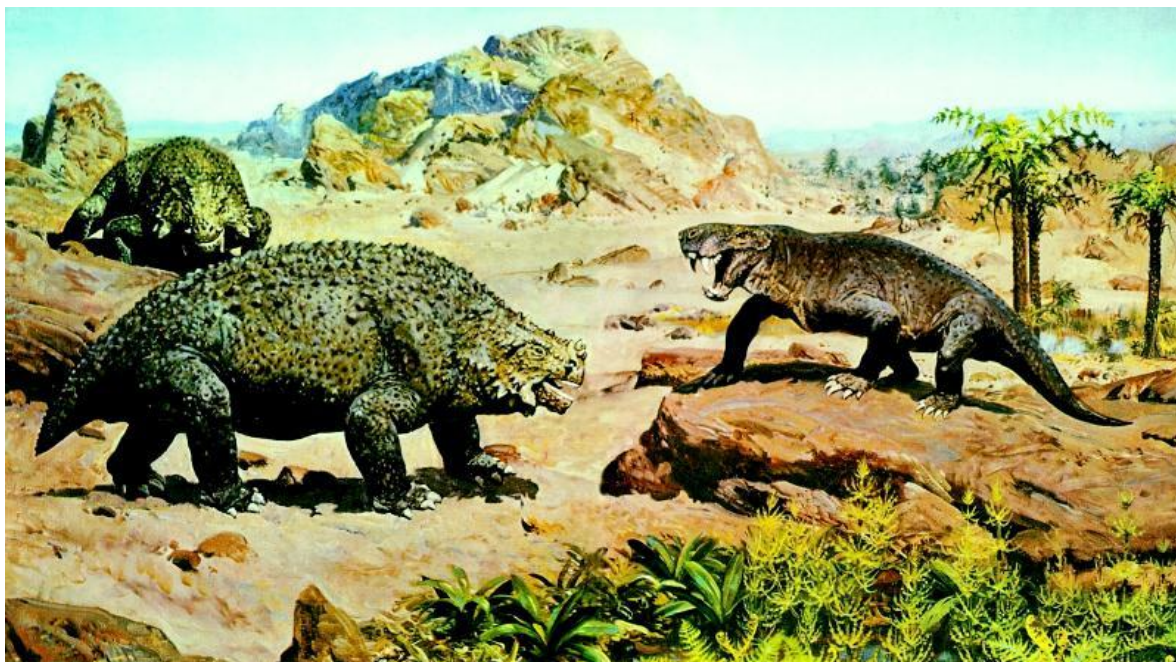
(illusztráció rorrása: www.researchgate.net/figure/Reconstruction-of-actual-site-3-of-Figs-1-and-2-of-a-peat-forming-forest-of-earliest_fig3_221851918)

Sigillaria fák magasodnak ki a Marattialean páfrány fák, a Noeggerathiales, és a Tingia, Pterophyllum, valamint a Taeniopteris lombozata felett.



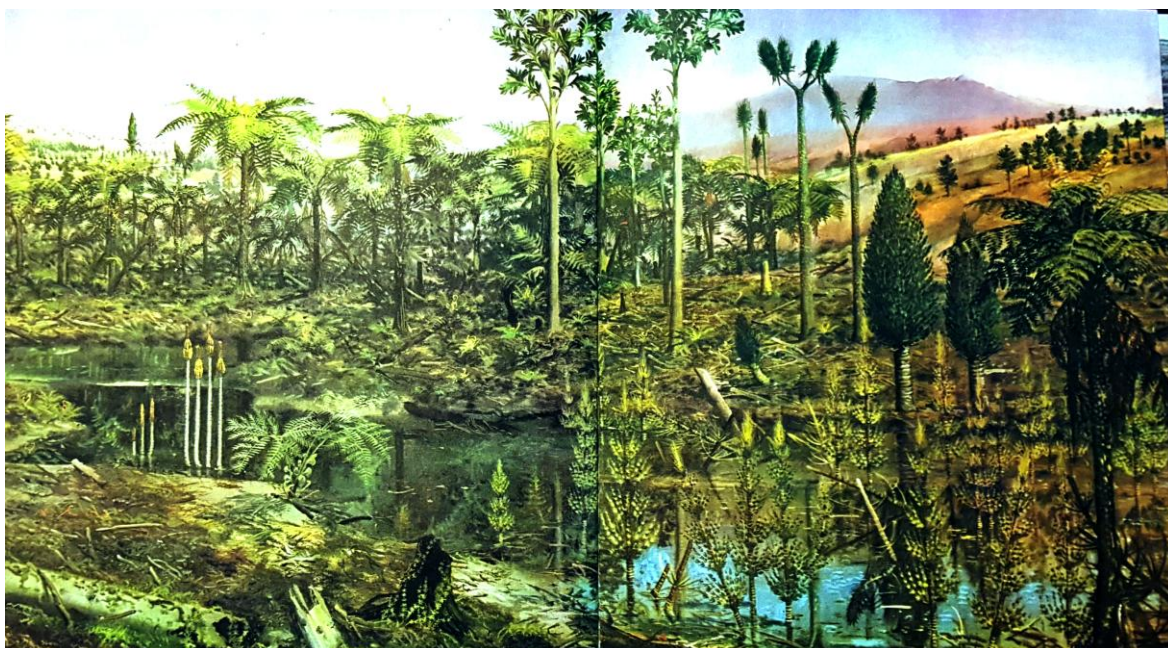
(www.fossilmuseum.net/fossil-art/geotime/per/permian-life2.htm)

Edaphosaurus, növényevő pelycosaurus nem volt az Edaphosauridae családból, amely a késő karbon földtörténeti kor idején terjedt el. A Diadectidae családdal együtt a legkorábbi ismert növényevő szárazföldi állatok közé tartozik.



(forrás: 1.bp.blogspot.com/-kR_B_1v6HuY/T8nViBSpkvI/AAAAAAAAAjQ/WCJBAaoC4kE/s1600/scutosaurus_&_sauroctonus_by_zdenek_burian_1966.JPG, és hu.pinterest.com/pin/223350462742025301/)

A Scutosaurus akkora volt mint egy kifejlett bika, az ősi jellegű Cotylosaurus hüllők egy másik csoportját képviselték. A Sauroctonus a fejlettebb „emlősszerű őshüllők” csoportjába tartozott, testalkata a Dimetrodonra emlékeztet.



(Illusztráció: Zdenek Burian: *Élet az ember előtt*, Gondolat kiadó 1976.)

A perm időszakban csapadékos periódusok is voltak, ilyenkor rohamosan megváltozott a táj képe, dús növényzet burjánzott a folyók és tavak környékén. A növények javarészt azok voltak, amelyek a karbonban is éltek.



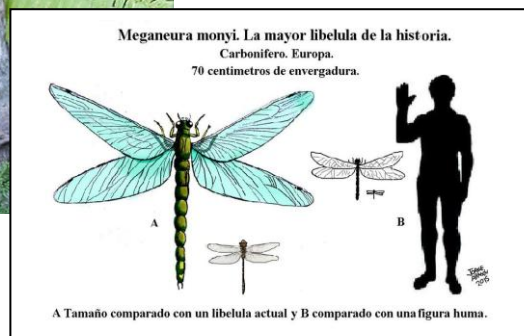
(forrás: John Sibbick, www.nationalgeographic.com/science/prehistoric-world/permian/)

A Lystrosaurus egy növényevő szinapszida, az emlősszerűek osztályának a Therapsida rendjébe, ezen belül az Anomodontia alrendjébe, a Dicynodontia alrendágába és a Lystrosauridae családjába tartozó nem. Az emlősök (Mammalia) az emlősszerűek (szinapszida) utolsó leszármazottai, ami a hüllősszerűekkel együtt a magzatburkosok (Amniota) kládot alkotja.

Az Odonata rendhez tartozó nagy szitakötők voltak a domináns légi ragadozók és valószínűleg a földi rovarvilág csúcsragadozói is. Az Odonata rend első valódi képviselői a perm idején jelentek meg és valamennyien kételtűek voltak. Őseik, akiktől a legidősebb szárnyas fossziliák származnak, már a devon időszakban megjelentek, már a késő karbon idejére felvettek sok modern vonást és talán még apró gerincesekre is vadásztak (egyes fajok szárnyfesztávolsága elérte a 73 centimétert).



(forrás:
theconversation.com/
are-the-paleozoic-
eras-giant-
dragonflies-still-
among-us-102384)
Meganeura monyi.



Több fontos rovarcsoport is a perm idején jelent meg, mint például a bogarak (Coleoptera) és a kétszárnyúak (Diptera).

A kora perm szárazföldi faunájában a pelycosaurusok és a kételtűek voltak uralkodók, a középső perm idején a primitív therapsidák - mint a Dinocephalia csoport tagjai -, a késő permében a fejlettebb therapsidák, mint a Goergonopsia alrend tagjai, vagy a dicynodonták. A perm legvégén megjelentek az első archosaurusok, amelyekből a triászban majd kifejlődnek a dinoszauruszok. A perm végén jelentek meg az első cynodonták, amelyekből a triászban kialakultak az emlősök. A középső perm idején fejlődött ki a therapsidák egy másik csoportja is, a Therocephalia alrend tagjai, mint a Trochosaurus. Repülő gerincesek a permében még nem voltak.

A perm idején jelentek meg az első nagy szárazföldi növényevők és ragadozók. Nagy számban terjedtek el az Anapsiák, mint a robusztus Pareiasaurus és kisebb, gyíkszerűbb csoportjaik. Elterjedtek a négy lábú hüllő Diapsidák (a madarak, krokodilok, gyíkok, kígyók és a legtöbb mai hüllő ősei). Ugyanakkor virágzott az emlősszerűek csoportja, köztük olyan nagy testű hüllők, mint például a Dimetrodon.



(forrás: www.karencarr.com/larger.php?CID=609, és https://nsf.gov/news/mmg/media/images/permian_h1.jpg)

A „Great Dying”, azaz Nagy Kihalás néven vált közismertté a 250 millió évvel ezelőtt bekövetkezett elképesztő méreteket öltött kihalási esemény.

Valószínűleg a perm kori kihalási esemény során került legközelebb a földi élet a teljes kipusztuláshoz. A perm végén bekövetkezett katasztrófikus kihalás okait eddig nem sikerült még pontosan tisztázni.

Massachusettsi Műszaki Egyetem (MIT) kutatócsoportjának sikerült megállapítani, hogy a kihalási esemény mennyi idő alatt ment végbe. MIT kutatói a kínai Szecsuán tartományban olyan perm végi üledékes kőzeteket vizsgáltak, melyek magukon hordozzák a kihalási esemény nyomait, azaz a nagy mennyiségben fellelhető ősmaradványokat, melyek vékony vulkáni porból és hamuból álló rétegekkel váltakoznak. A vulkáni képződményekben található cirkon szemcsékből urán-ólom módszer segítségével képesek voltak a vulkanikus rétegek abszolút korát megállapítani.

A modern mérési eljárásnak köszönhetően kiderült, hogy körülbelül 60.000 év alatt játszódott le a Föld minden idők legnagyobb tömeges kipusztulása. Az eredmény megdöbbentő, ugyanis a kihalási esemény nagyon gyorsan, nagyjából 10-szer gyorsabb lefolyású volt, mint ahogy azt korábban feltételezték.

A tengerből szűrő módon táplálkozó, szesszilis (helyhez kötött) életmódot folytató állatok körében jelentős volt a kihalás, így a tengeri liliumok nagy



része eltűnt a partközeli tengerekből. A sekély tengerek szárazföldre válásával drasztikusan csökkent az életterük.

Első ránézésre talán növénynek nézhetjük őket, de nem azok. Megtalálhatjuk rajtuk az állatok szokásos anatómiáját, például az emésztőrendszert és az idegrendszert.

Crinoidea fosszilia.

(forrás: pangea.blog.hu/2014/02/26/a_perm_vegi_kihalas_60_000_ev_alatt_zajlott_le)

A MIT kutatói továbbá az üledékes kőzetek vizsgálata során azt találták, hogy 10.000 évvel a tömeges kihalás előtt jelentős mennyiségű szén-dioxid (CO₂) került a légkörbe. A megnövekedett légköri szén-dioxid (CO₂) mennyiség kapcsolatba hozható az egykori óceán, a Panthalassa általános elsavasodásával és közel 10 Celsius fokos hőmérséklet emelkedésével. A tengervízben hirtelen bekövetkezett jelentős változások kétségkívül hozzájárultak a tengeri fajok kihalásához, ugyanis az ilyen gyors változások során a megváltozott életkörülményekhez rendkívül nehezen képesek alkalmazkodni az élőlények.

(forrás: www.sciencedaily.com/releases/2014/02/140210161334.htm)

A jegűjabb kutatások szerint, épp az ellenkezője igaz: a permi kihalási esemény a globális lehülés, a jégtaaró kiterjedt növekedése, a viszonylag alacsony szén-dioxid-szint, valamint a tengeri élőhelyeket pusztító tengerszint 100 méteres esése során fordult elő.

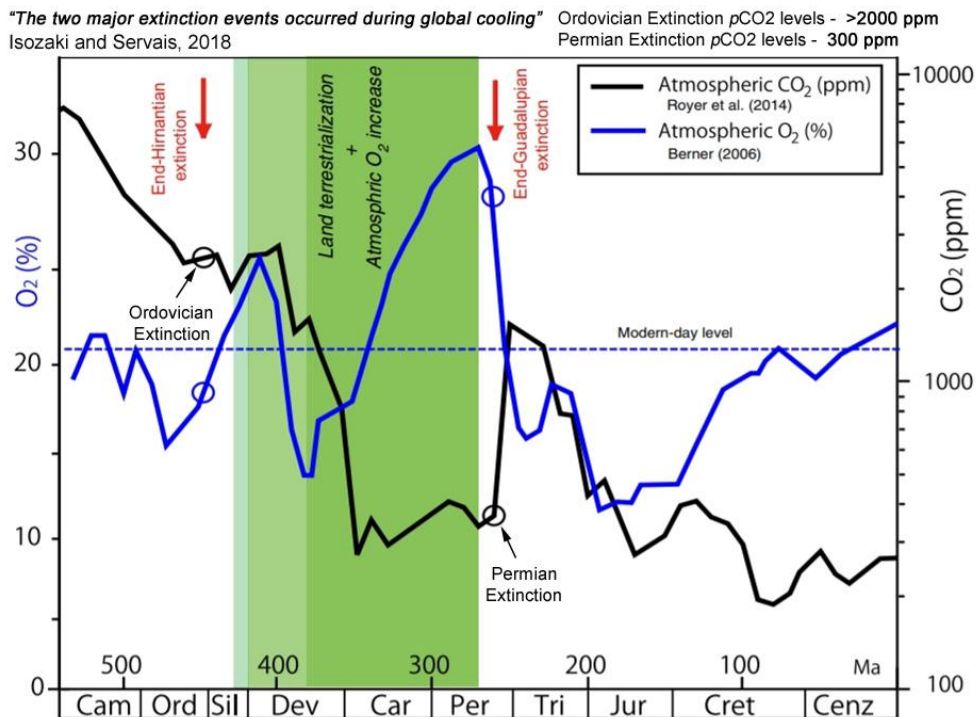


Fig. 3. Secular change in the Phanerozoic atmospheric $p\text{O}_2$ and $p\text{CO}_2$ (Bernier 2006; Royer *et al.* 2014), and the timing of two compared extinction events with respect to the mid-Palaeozoic terrestrialization of continents. Although the two major extinctions occurred during global cooling, the atmospheric compositions were significantly different between the Ordovician and Permian, before and after the major terrestrialization of the continents, respectively (Fig. 1). The Ordovician $p\text{CO}_2$ (over 2000 ppm) was one order of magnitude higher than that of the Permian (ca. 300 ppm), whereas the Permian $p\text{O}_2$ (ca. 25–30%) was greater than that of the Ordovician (16–18%). [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

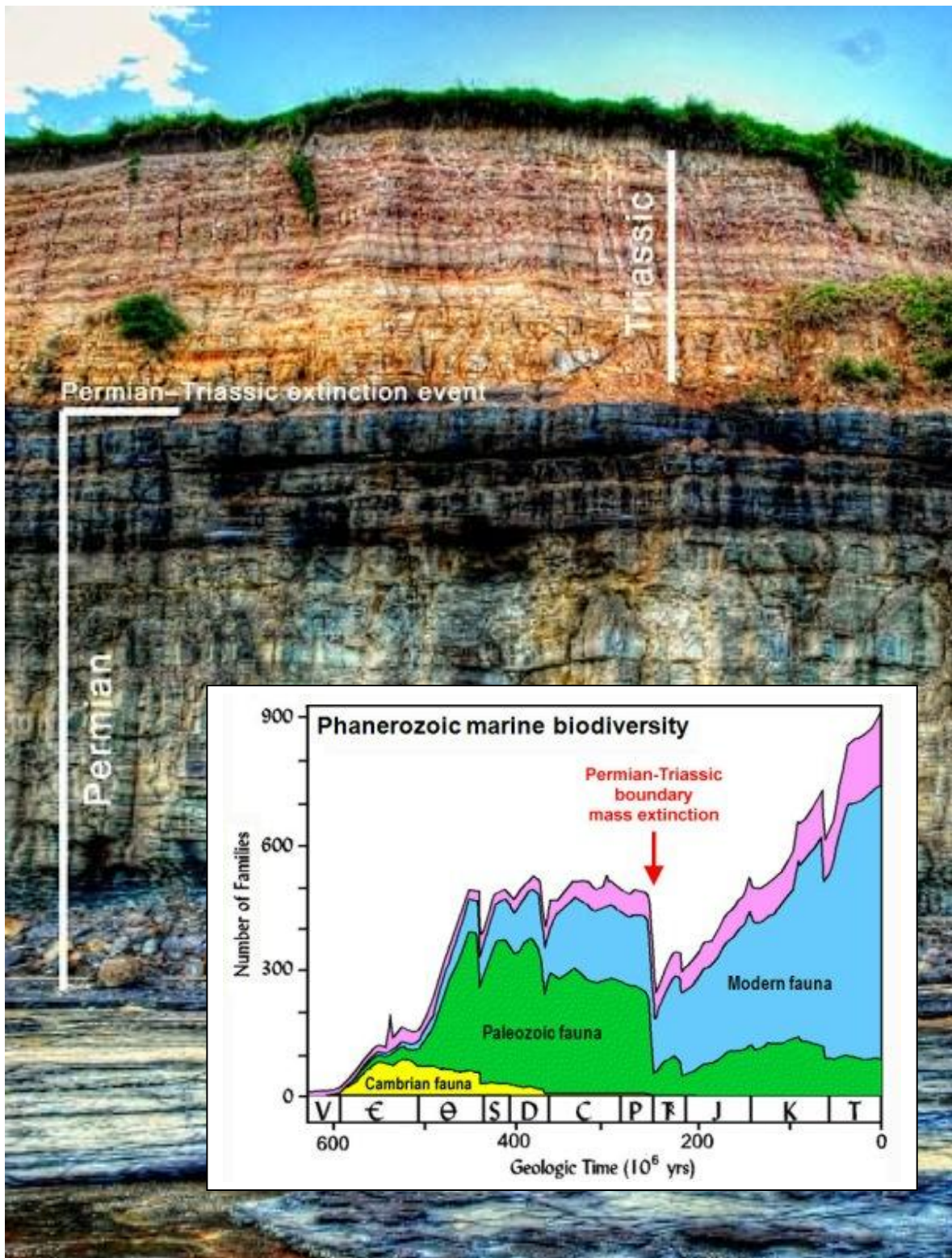
(forrás: notrickszone.com/2018/05/28/2-new-papers-permian-mass-extinction-coincided-with-global-cooling-falling-sea-levels-and-low-co2/)



(Fotó: H. Bucher / Zürichi Egyetem)

(forrás: www.upi.com/Science_News/2017/03/06/Ice-age-not-warming-explains-Permian-Triassic-extinction-event/6871488815458/?ur3=1 és www.nature.com/articles/srep43630)

Az ősi üledékes kőzetrétegek és a cirkonkristályok pontosabb vizsgálata bizonyította, hogy a permi-triász kihalási eseményt egy rövid jégkorszak okozta.



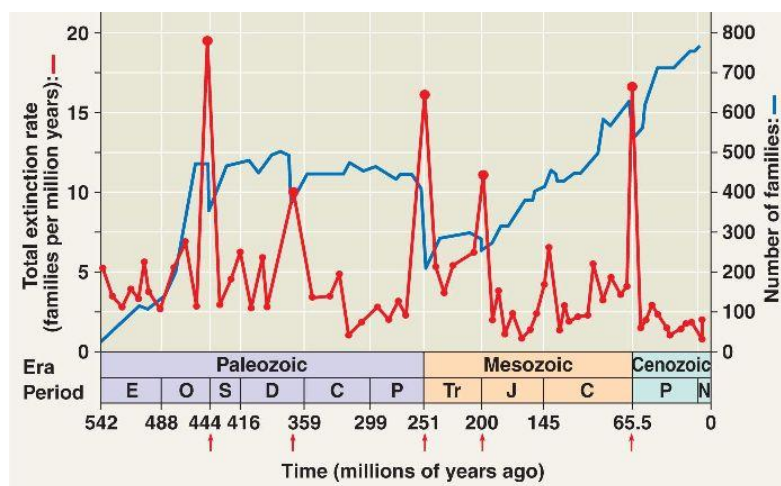
(forrás: socialunderground.com/wp-content/uploads/2018/01/Permian-Triassic-Boundary-notorious-for-being-the-most-devastating-extinction-event-1-1.jpg, és <https://bluemarbleearth.wordpress.com/2015/03/11/the-hockey-stick-in-context/>)

Perm-triász kori üledékes kőzetrétegek. (Austinmerben található Sydney és Wollongong között, Ausztrália tengerparti külvárosában.)



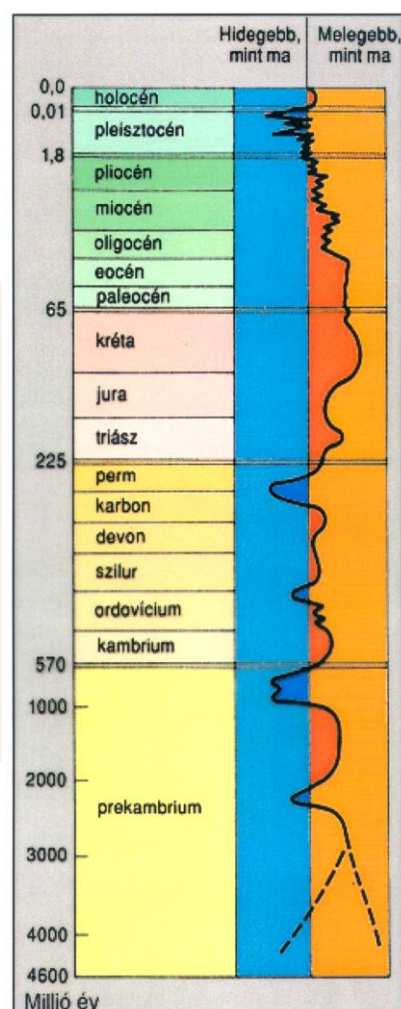
(forrás: blog.zhdk.ch/visdom/2013/01/15/667/perm658/)

A perm–triász kori kihalási esemény (~252 millió éve) során a tengeri fajok több, mint 96%-a, a szárazföldi fajoknak pedig a 70%-a tűnt el végleg a Föld felszínéről, ráadásul ez az egyetlen olyan kihalás, amikor a mindent túlélő ősi rovarok is áldozatául estek a kihalási eseménynek.

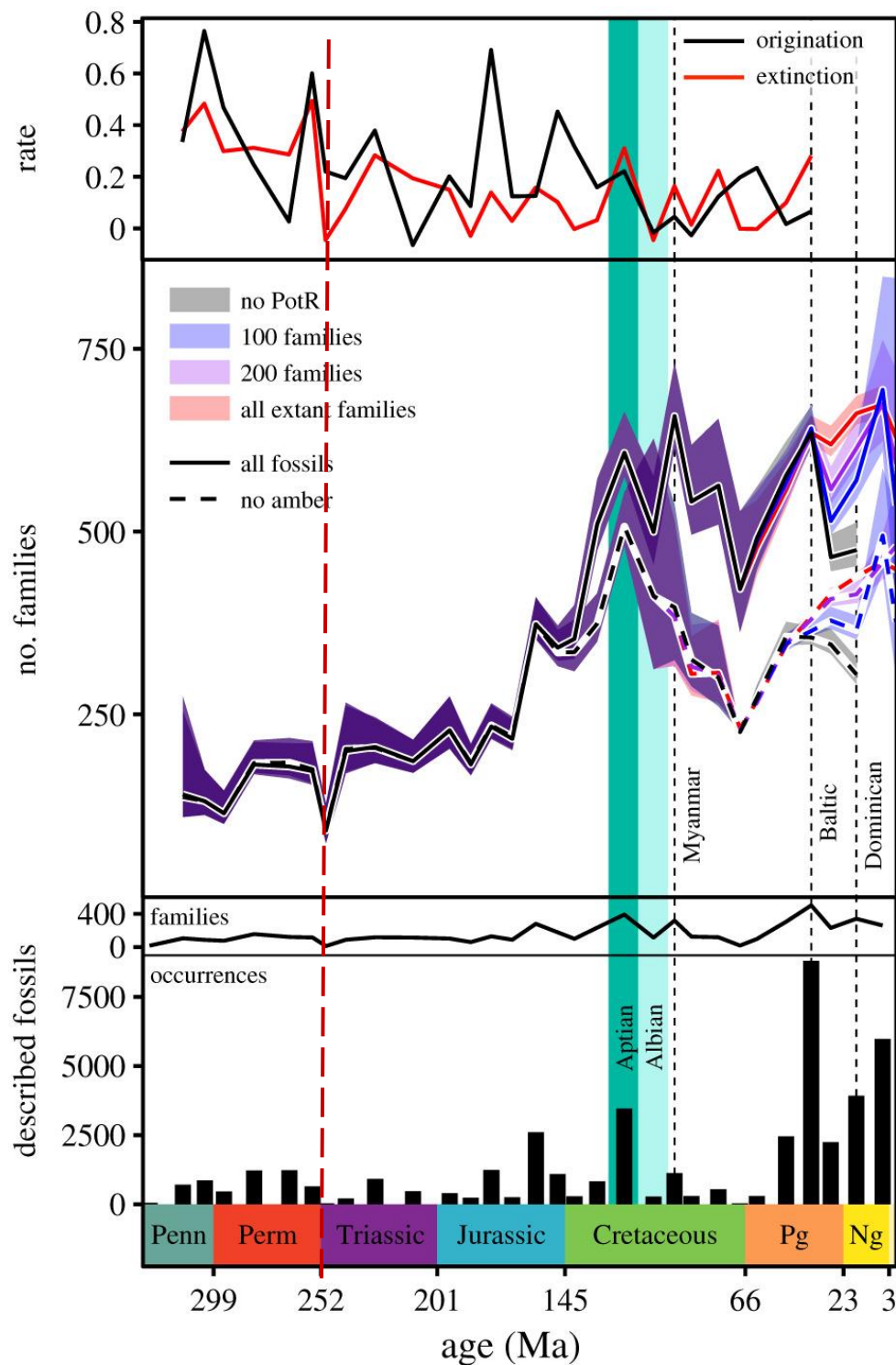


A kihalási ráta és a családok száma az évmilliók függvényében.

(www.researchgate.net/figure/Extinction-rate-blue-curve-and-evolution-of-the-number-of-families-red-curve-over_fig7_305730824 és astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/3_Ido_korrekcioik/ido_korrekcioik.htm)



A Föld hőmérsékletének változása a földtörténeti korokban.



(forrás: royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2019.2054)

Az ábra mutatja a CMR-rel („capture–mark–recapture” ez a módszer figyelembe veszi a rovarok ősmaradványainak hiányosságát, valamint az időintervallumok közötti egyenetlen mintavételt) becsült családi szintű rovarsokféleség kialakulás (origination) és a kihalás (extinction) arányát, valamint a leírt (described) fossziliák számát. A központi panelen látható színekódolás azt mutatja, hogy hány meglévő család jutott el a napjainkig.

A legfrissebb felfedezések a dél-kínai Nanpanjiang folyó medencében található üledékrétegek pontos elemzésének eredményei. Az ősi rétegek lehetővé tették a svájci genfi és a zürichi egyetemi kutatók számára, hogy elmondják a biodiverzitás és a klíma változásait a permi és a triász időszakban.

„Az urán és az ólom koncentrációjának mérésével lehetővé vált számunkra, hogy egy üledékréteget 35 000 éves pontossággal rögzítsük, ami már meglehetősen pontos a 250 millió évet meghaladó időszakokra” - írta tanulmányában Urs Schaltegger kutató.

Az újonnan végzett kormegmegtározás szerinti rétegek elemzése kimutatta, hogy a kihaltás során jelentősen csökkent a tengervízszint. A vízszint ilyen drámai csökkenésének egyetlen magyarázata a jég hirtelen növekedése.

A jégkorszak mindössze 80 000 évig tartott, de az extrém hideg elegendő volt a tengeri fajok nagy részének elpusztításához.

A hamulerakódások a vulkanikus aktivitás megnövekedését jelzik, és a kén-dioxid kibocsátása a Föld légkörébe csökkenti a napsugárzást és kiváltotta a rövid jégkorszakot.

„Ezért bizonyítékunk van arra, hogy a fajok egy jégkorszak alatt tűntek el, amelyet a Szibéria-i Traps vulkánizmusa okozott” - vonta le a következtetést Schaltegger.

A „Traps” kifejezést a geológiában 1785–1795 óta használják az ilyen kőzetképződményeknél. A svéd lépcsők szavából „trappa” származik, és a régió táját alkotó lépcsős hegyekre utal.

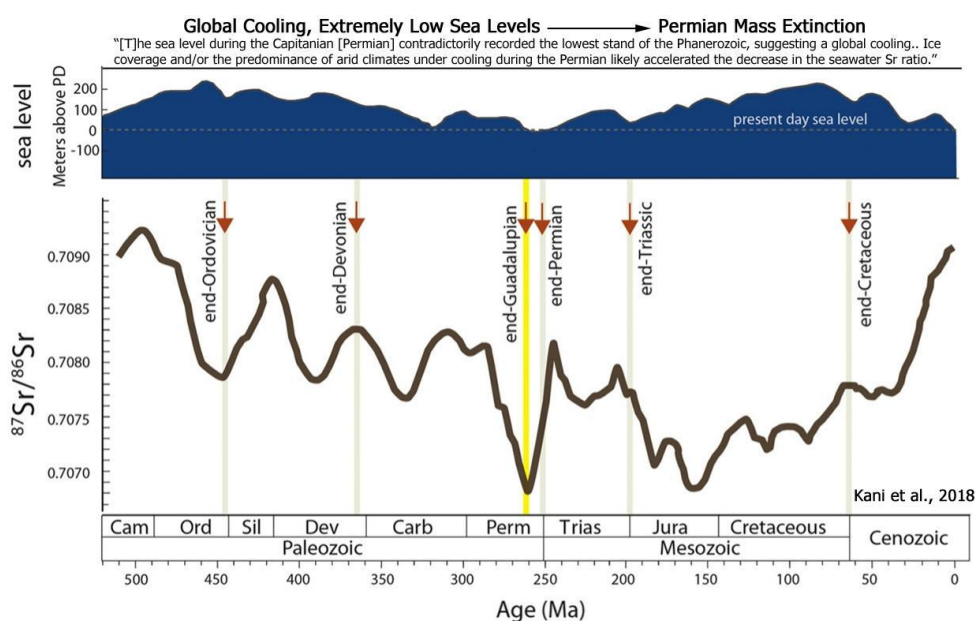
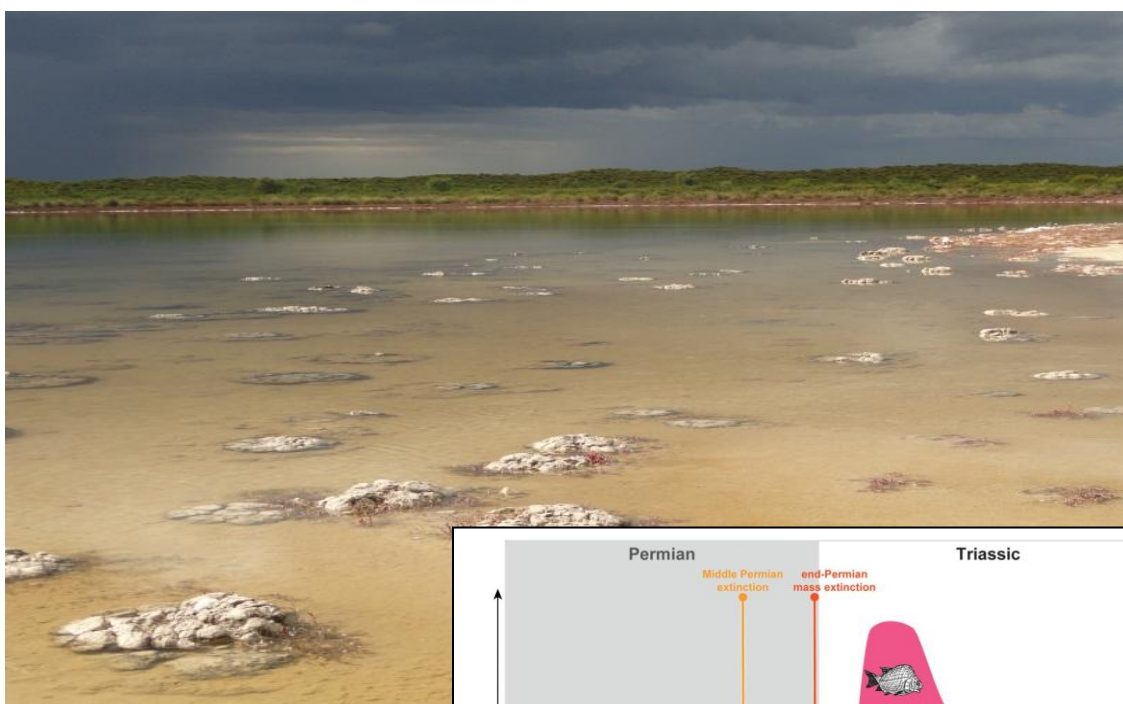


Fig. 1. Overview of secular changes in sea level (modified from Haq and Schutter, 2008) and the seawater Sr isotopic profile during the Phanerozoic (modified from McArthur et al., 2012) with major extinction timings.

(forrás: notrickszone.com/2018/05/28/2-new-papers-permian-mass-extinction-coincided-with-global-cooling-falling-sea-levels-and-low-co2/)

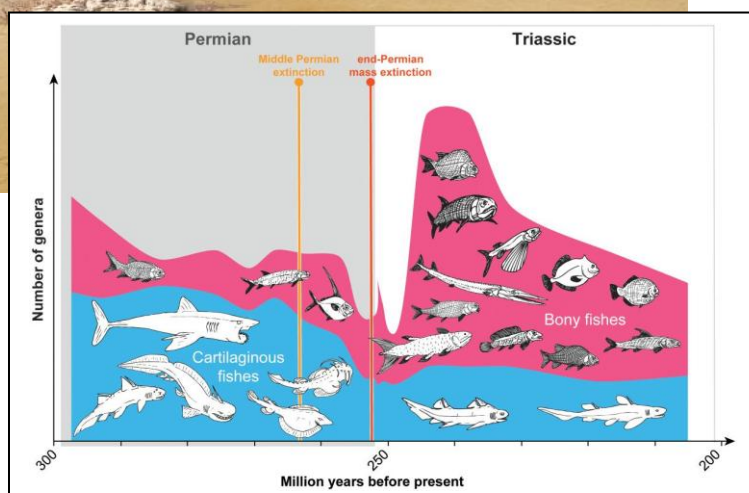


Illusztráció (forrás: Beardmore Glacier, central Antarctica. Commander Jim Waldron USNR—Antarctic Photo Library/National Science Foundation, www.britannica.com/place/Antarctica/Glaciers-and-seas)

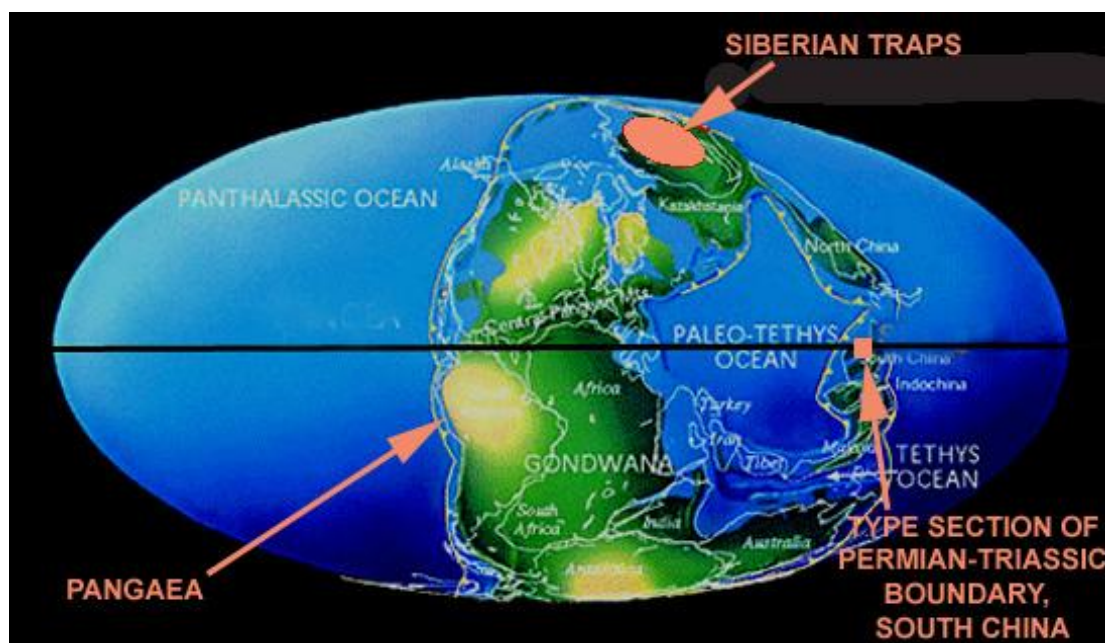


Illusztráció

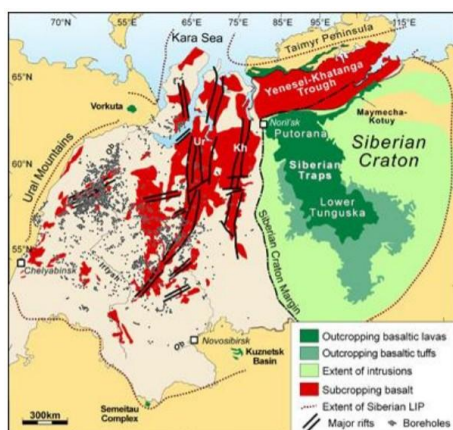
(forrás: www.media.uzh.ch/en/Press-Releases/archive/2014/massenaussterben-brachten-knochenfischen-viele-neue-arten.html)



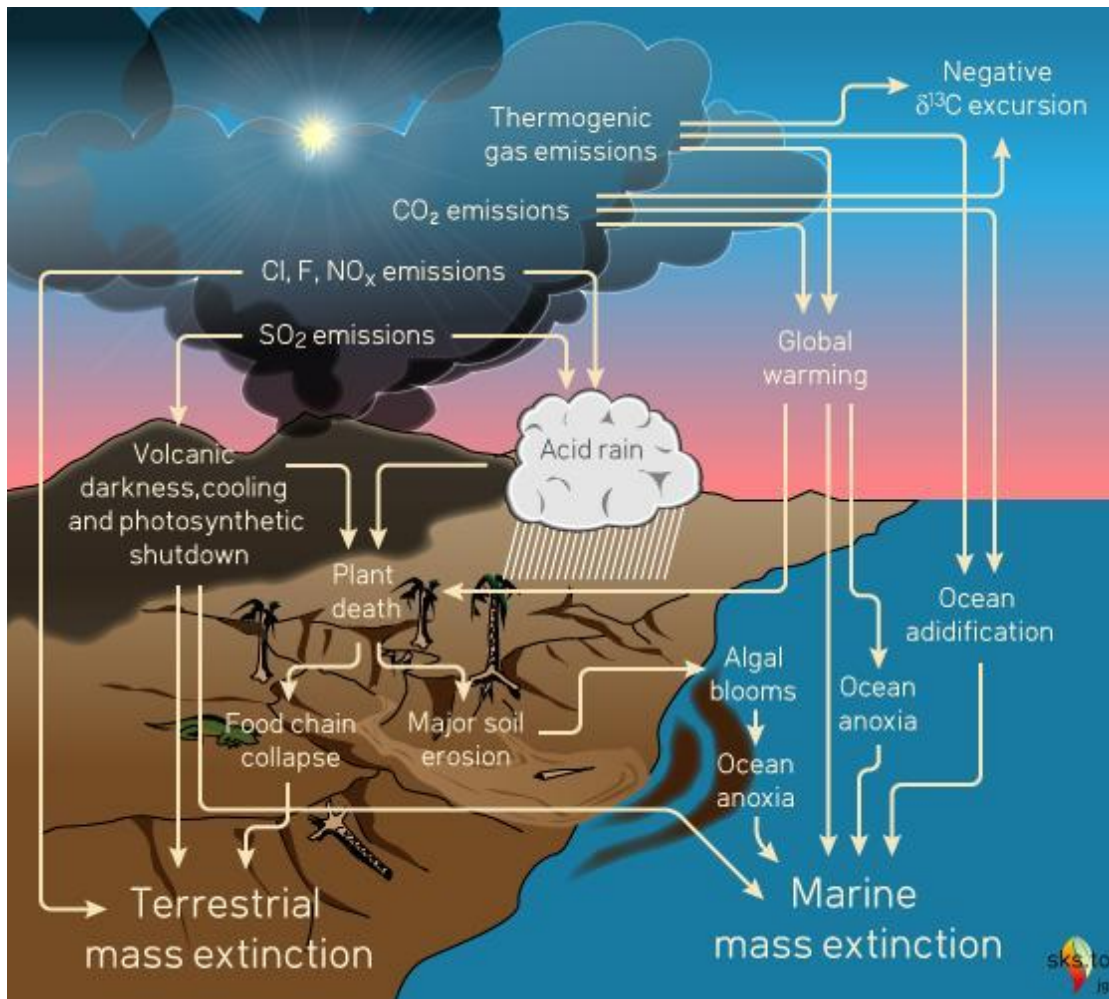
A perm legkésőbbi szakaszában két platóbazalt-esemény következett be. Ezek közül az első, kisebb mértékű esemény kitörési központja a kínai Emeishan közelében található; időben a guadalupi végi, kisebb kihalási hullámmal esik egybe. A kitörés valószínűleg sekély tengerben történt, az ekkor a tengervízbe folyó, mintegy félmillió köbkilométernyi híg bazaltláva hatalmas robbanások között elegyedett az ennek hatására pillanatok alatt felforró tengervízzel, így nagy mennyiségű kénsavat juttatva a légkörbe, ami komoly savas esőket okozott az egész Földön, emellett a felhőképződést felgyorsítva a légkör lehűléséhez vezetett.



A későbbi kelet-szibériai platóbazalt-kitöréseket a földtörténet egyik legnagyobb ismert vulkáni eseményeként tartjuk számon: mintegy 1,5 millió km²-nyi területet borított be a bazalt, helyenként több mint 3 km vastagságban. Ez utóbbi bazaltömlés korát a legújabb mérések 251 millió évre, tehát közvetlenül a perm-triász határ elé teszik.



(forrás: elodas.elte.hu/elodasok/PJ_16mar16.pdf)



(forrás: www.skepticalscience.com/pollution-part-2.html)

A bazaltvulkánok általában higan folyós lávát produkálnak, és alig szórnak törmeléket, azonban a szibériai bazaltvulkanizmus termékeinek 20%-a piroklasztitból, azaz a levegőbe szórt és onnan kiülepedett vulkáni törmelékből áll. Ismert, hogy ezen a területen a magma széntelepeken, karbonátos kőzeteken és kéntartalmú evaporitokon (főként anhidriten) hatolt át, ami illótartalmát jelentősen növelhette, kéntartalmát dúsíthatta. Így a törmelék mellett igen nagy mennyiségű szulfátos aeroszol kerülhetett a légkörbe, ez pedig nemcsak a napsugárzást árnyékolja le, globális lehűlést kiváltva és a fotoszintézist ellehetlenítve, hanem savas esőket is előidéz. A savas esők bizonyítékának tekintik a korabeli óceánvíz növekvő $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ arányát: az erősödő szárazföldi erózió juttathatott több 87-es tömegszámú, azaz radiogén stronciumizotópot az óceánba. A vulkáni tevékenység gyengülésével, az aeroszokok kiülepedésével a másik kibocsátott gáz, a széndioxid vehette át a főszerepet, immár globális felmelegedést okozva. A mészvázú élőlények számára mind a savas eső, mind a növekvő széndioxid-koncentráció gátolhatta a váz anyagának kiválasztását.

A perm végi és a triász végi és kihalási események oknyomozása során több, egymással versengő elmélet is született. Mai ismereteink alapján mindkét krízis környezeti és élővilágbeli eseménysorát legvalószínűbben egyidejű, rendkívüli mértékű vulkáni tevékenység idézhette elő.

Pálfy József geológus és paleontológus, saját meghatározása szerint földtörténész. A Magyar Tudományos Akadémia és a Magyar Természettudományi Múzeum Paleontológiai Kutatócsoportjának tudományos főmunkatársa székfoglaló írásában összegezte e két esemény legvalószínűbb okait.

A triász végénél sokkal többet vizsgált perm végi esemény bonyolult összefüggésrendszerét többek között Wignall értelmezte úgy, hogy a változások elsődleges kiváltó oka egy nagy magmás provincia (abban az esetben a Szibériai trap) vulkanizmusa volt. Ezt a modellt jól lehet adaptálni a triász végi eseménysorra is.

Az ismert adatok alátámasztják, hogy a KAMP vulkanizmusa indította el a környezetváltozások bonyolult láncolatát. A Föld rendszerként működik, a köpenyeredetű magmatizmusnak a litoszférában lejátszódó folyamatai a többi alrendszer mindegyikében (az atmoszférában, a hidroszférában és a bioszférában) is változásokat idéztek elő.

A rendszerszintű változások legfontosabb közvetítője a vulkáni kigázosodásból a légkörbe kerülő, éghajlatmódosító hatású gázok. A kén-dioxid rövid távú lehűlést okoz, ennek kimutatása különösen nehéz a földtörténeti régmúltban. A halogénekkal együtt savas esőt is okozhatnak, a CO₂ pedig hosszabb távú globális felmelegedést idéz elő. Ettől környezetváltozások láncolata indult el az óceánban is, a légkör globális felmelegedésétől az óceán vize is felmelegedett, és mindez felerősödött a pozitív visszacsatolási hurokként ható gáz-hidrát disszociáció által.

Ez a folyamat a mélyóceáni üledékben csapdázódott klatrátokból metán felszabadulásával jár, amely a szén-dioxidnál sokkal hatékonyabb üvegházgáz. Ez lehetett az oka annak, hogy a vulkanizmus által kiváltott globális felmelegedés szuperüvegház-állapotba torkollott.

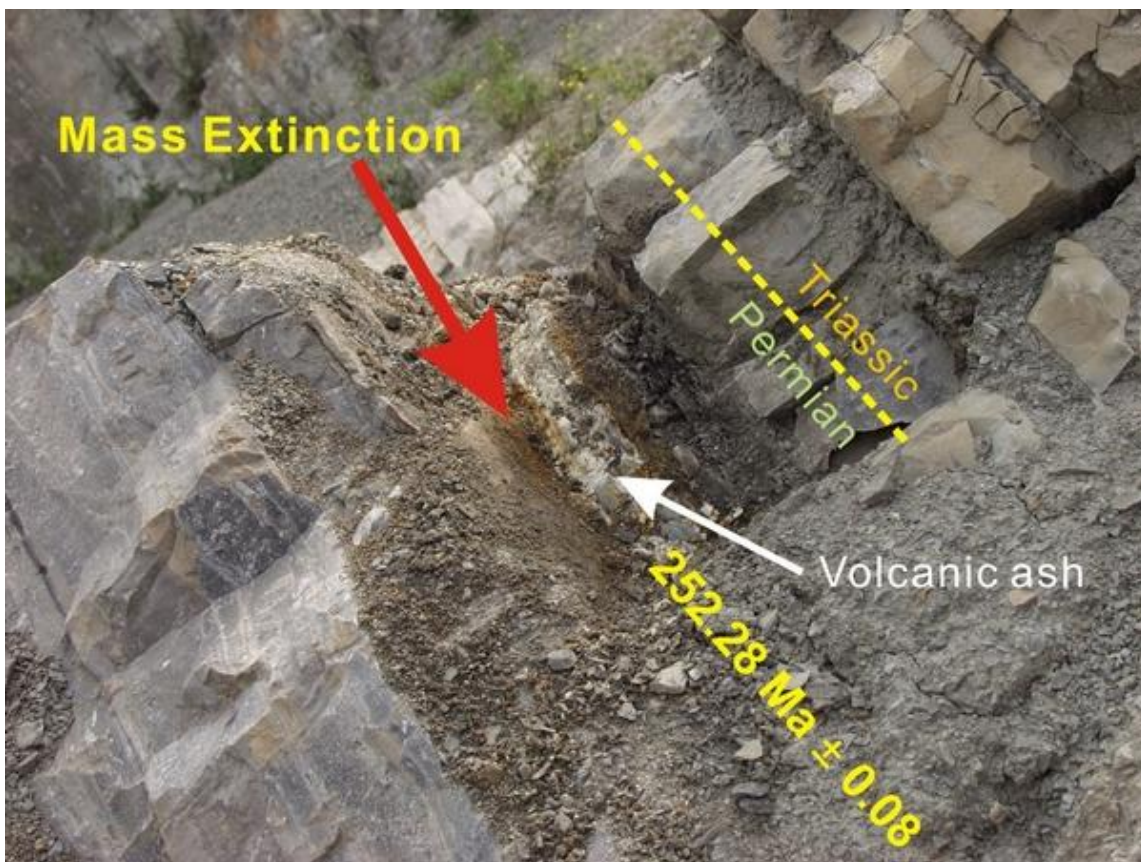
A tengeri élővilágot, különösen a mészvázú élőlényeket, hatványozottan sújtotta az óceánok savasodása is.

Ezekre a környezetváltozásokra a bioszféra válaszreakciója a tömeges kihalás, a tengerben és a szárazföldön egyaránt.

(forrás: real.mtak.hu/18322/1/Palfy_Jozsef_szekfoglalo_2013.pdf)



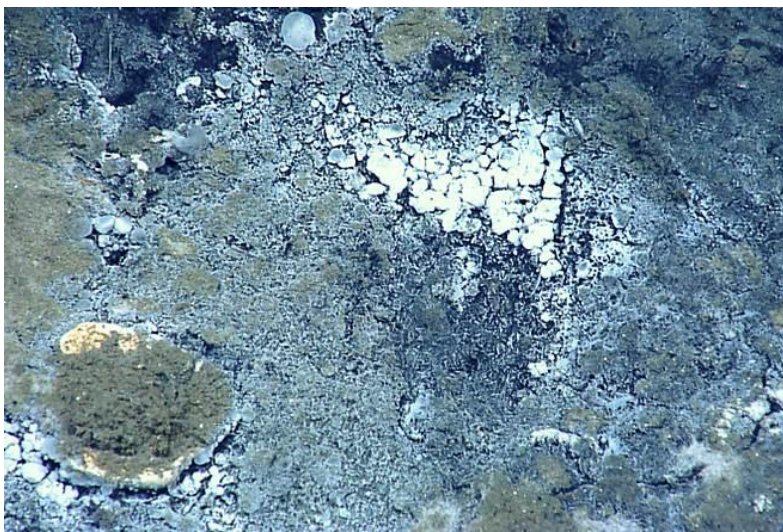
(Illusztráció forrása: wherearethefossils.wordpress.com/2017/02/28/what-caused-the-largest-mass-extinction-ever/)



(forrás: geologyin.com/2016/02/perman-triassic-extinctions-timed.html)
 Perm-triász kori üledékes kőzetrétegek (Dél-Kína, Meishan)

Amerikai kutatók úgy vélik, hogy az archeákhoz tartozó, *Methanosarcina* nevű metántermelő mikrobák robbanásszerű elszaporodása járt majdnem végzetes következménnyel a földi élővilágra 252 millió évvel ezelőtt. A perm-triász kihálási esemény messze a legnagyobb volt az öt ismert tömeges kipusztulás közül.

Daniel Rothman geofizikus és munkatársai szerint ezek a mikrobák olyan mennyiségű metánnal árasztották el a légkört, ami miatt drámaian megváltozott az éghajlat és az óceánok kémiai összetétele. Úgy vélik, hogy a kihálásban a vulkanizmus is szerepet játszott, de elsősorban azzal, hogy elősegítette ezeknek a mikroorganizmusoknak az elszaporodását.



(forrás: Miriam Jones, USGS, tudomany/20140401-metantermelo-mikrobak-is-hozzajarultak-a-perm-triasz-kihalashoz.html)

Baktériumszőnyeg a tenger fenékeén.

Elképzelésüket három, egymástól független bizonyítéksorral támasztják alá. Először is a geokémiai leletek azt igazolják, hogy a szén-dioxid szintje exponenciálisan (vagy még meredekebben) nőtt az óceánokban a perm-triász kihálás idején. Másodsor a genetikai bizonyítékok a *Methanosarcina* olyan megváltozását mutatják ebben az időben, amely lehetővé tette, hogy ezek legyenek a legnagyobb metántermelők a vízben felhalmozódott szén-dioxid felhasználásával. Végül az üledékminták vizsgálata a nikkellerakódás hirtelen növekedését mutatja ebben az időszakban. (Ez utóbbi a fokozott vulkáni tevékenységre utal.)

A mikrobák szaporodásához azonban ásványi anyagra is szükség van. A *Methanosarcina* mikrobák szaporodását a nikkeltartalmú ásványok mennyisége korlátozza. Mivel azonban a szibériai vulkántevékenység hatására megnőtt a felhasználható nikkelmennyiség, semmi sem szabott gátat a mikrobák rohamos elszaporodásának. - írták a Massachusetts Institute of Technology (MIT) kutatói, akiknek a tanulmánya hétfőn jelent meg a *Proceedings of the National Academy of Sciences*-ben (PNAS), az amerikai tudományos akadémia szakfolyóiratában.

Daniel Rothman geofizikus és munkatársai szerint ezek a mikrobák olyan mennyiségű metánnal árasztották el a légkört, ami miatt drámaian megváltozott az éghajlat és az óceánok kémiai összetétele. Úgy vélik, hogy a kihalásban a vulkanizmus is szerepet játszott, de elsősorban azzal, hogy elősegítette ezeknek a mikroorganizmusoknak az elszaporodását.



(forrás: fotó: Daniel Rothman, D.H. Rothman, G.P. Fournier, K.L. French, E.J. Alm, E.A. Boyle, C. Cao, R.E. Summons (2014), Methanogenic burst in the end-Permian carbon cycle, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (15), 5462–5467, doi: 10.1073/pnas.1318106111, <https://newatlas.com/mit-mass-extinction-microbe-methanosarcina/31465/>, és <https://news.mit.edu/2014/ancient-whodunit-may-be-solved-microbes-did-it>, és www.nbcnews.com/science/science-news/methane-spewing-microbes-may-have-caused-earths-worst-mass-extinction-n68276)

A kínai Xiakou-formáció egy része, amely a permi tömeges kihalási esemény idejét jelzi. Az ebből a formációból vett minták nagy mennyiségű nikkelle jelenlétére szolgáltattak bizonyítékot, amelyek 252 millió évvel ezelőtt vulkáni tevékenységből származtak.

A szárazföldön a túlélő növények, között mint a korpafüvek, és a cikászok, találhatóak a páfrányfenyőfélék, melyeket napjainkban a Glossopteridales rend tagjai és a Ginkgo biloba képvisel.

A Ginkgo biloba egy „őskövület”. Újabb rendszertani beosztások szerint egy önálló növénytörzs egyetlen megmaradt túlélője. Egyes leírások a törzs, mások a család, míg megint mások a nemzetség „élettartamát” adják meg, amikor meg szeretnék adni a Ginkgo biloba régiségét millió években. Míg maga a Ginkgo biloba a harmadidőszak elején jött létre, addig a Ginkgo család a triász időszakban, a Ginkgophyták pedig a kora permében vagy a késő karbon időszakban fejlődtek ki.



(forrás: www.greelane.com/hu/tudomany-tech-math/allatok-es-termeszett/ginkgo-biloba-picture-gallery-maidenhair-4122866/)

Hasonlóság a 170 millió éves kövület és a mai Ginkgo biloba levelei között.



(forrás: tereless.hu/keletkultinfo/ginko.html)

Élő kövület alatt azokat az élőlényeket (általában fajokat vagy nemzetségeket) értjük, amiket fossziliákból is ismerünk, évmilliókon át, a kihalási eseményeket túlélve szinte változatlanul fennmaradtak vagy egy olyan leszármazási vonal tagjai, amelynek teljes rokonsága már régen kihalt – ez a perzisztencia (tartós fennmaradás) jelensége.



(forrás: news.mit.edu/2013/permian-acid-rain-extinction-112513)



(Illusztráció: Zdenek Burian: *Élet az ember előtt*, Gondolat kiadó 1976.)

A Pangea belső vidékeit hatalmas sivatag borította. A perm idején keletkezett sziklát gyakran festik meg vörös vas-oxid rétegek, hiszen óriási, vegetációval nem fedett területek voltak kitéve az erős napsugárzásnak. Sok korábbi növény és állat fajta a megváltozott környezet miatt kihalt.



(forrás: <https://ekabu.ru/196945-opoki.html>)

Az Opoki a Permian rétegek a Vologda régió északkeleti részén (Oroszország) 60 méter magas és széles körben kiterjedt a Sukhona folyó partján. A rétegek kialakulásának kora ~250 millió év.

A mezozoikum (251 – 66 millió évvel ezelőtt)

középidő kezdetén jelentős tektonikus, éghajlati és evolúciós változások kora. Az őskontinens ekkor szakadt a ma is ismert kontinensekre. Miután a perm korban csaknem minden állatfaj kihalt, tág tere nyílt új életformák létrejöttének.

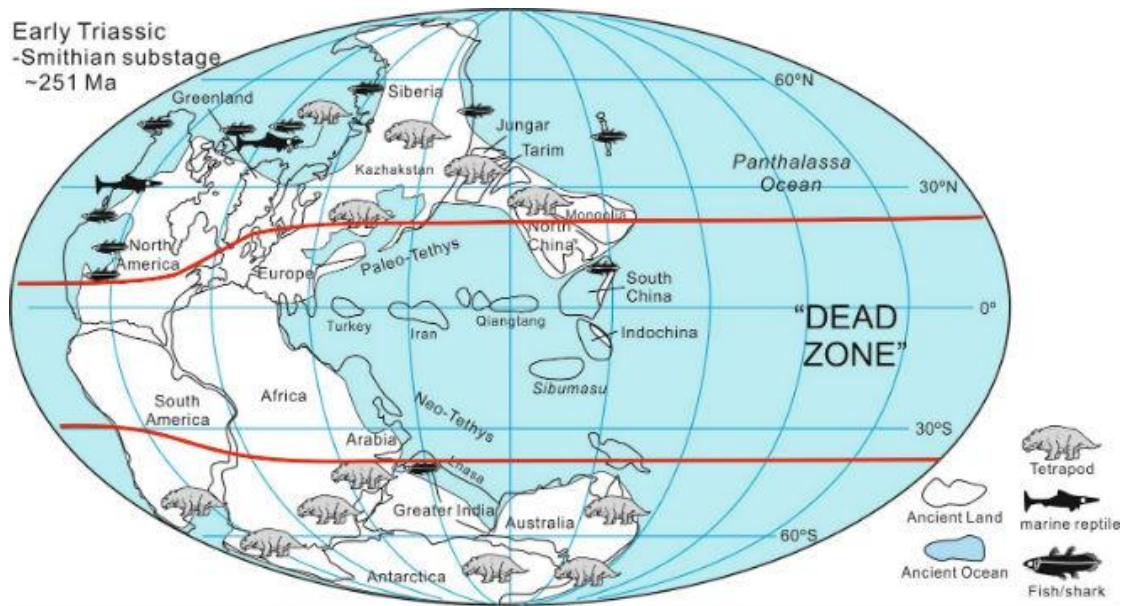
A triász (252 - 201 millió évvel ezelőtt), a tengeri és szárazföldi fajok kirobbanó adaptív radiációja – azaz az óriási mértékű kihalás miatt kiürült élőhelyek betöltése miatti variálódása, szétraajzása – jellemzi. Ekkor tűntek fel az első hatosztatú virágállatok, ekkor jöhettek létre a virágos növények és ekkor jelentek meg az első repülő gerincesek, a pteroszauruszok az első halgyíkok (Ichtyosauridák), valamint a dinoszauridák is. A triász időszakban éltek továbbá a kavicsfogú álteknősök.



(forrás: earthlyuniverse.com/triassic-earth-the-rise-of-the-dinosaurs/)
 Illusztráció: Fine Art America, Illusztráció: Ludek Pesek

A triász során a Föld szárazföldi területei egyetlen szuperkontinensben, a többé-kevésbé az egyenlítőn elhelyezkedő Pangea-ban egyesültek. Kelet felől egy hatalmas öböl, a Tethys-óceán határolta.

A Pangea az időszak során, főként annak vége felé elkezdett kettéválni, de nem különült el teljesen. A késő triász kor fossziliáit Afrikaszerte megtalálták, de délen gyakrabban fordulnak elő, mint északon.



(forrás: arctic-news.blogspot.com/2012/10/lethally-hot-temperatures-during-the-early-triassic-greenhouse.html)

A triász időszak a permel szemben kiegyenlítettebb, melegebb éghajlatú volt. Az északi féltekén száraz, meleg, helyenként pedig olyan sivatagi éghajlatra utaló jelek találhatók, mint a tarka és vörös homokkövek, a gipszes rétegek alján levő szélfújta kőzetek, valamint az éles kavicsok. A déli féltekén csapadékban gazdag éghajlatot jelző kőszéntartalmú rétegek is előfordulnak, de a sivatagi homokkövek száraz éghajlatú területeket is jeleznek.

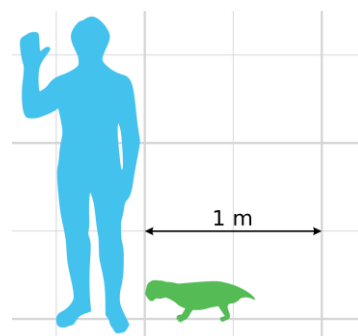


(illusztráció forrása: <https://en.wikipedia.org/wiki/Valley>)

A *Lystrosaurus* a késő perm és a kora triász határán körülbelül 250 millió évvel ezelőtt élt azon a földrészen amelyik manapság Antarktisz, India és Dél-Afrika.



(forrás: proopnarine.wordpress.com/2011/11/03/instability-in-the-early-triassic/, és eo.wikipedia.org/wiki/Lystrosaurus)

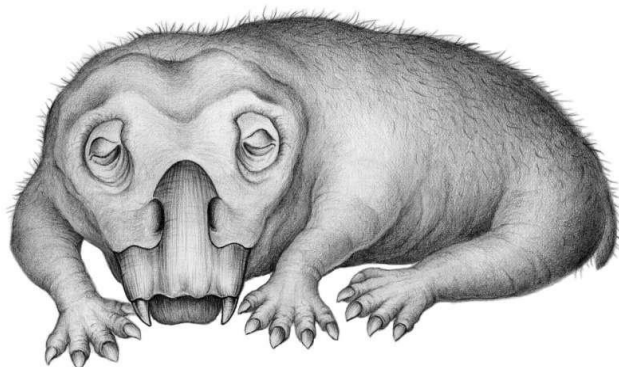


Lystrosaurus murrayi (egy dicynodont synapsid) egy növényevő, a korai triász idején az egyik legelterjedtebb szárazföldi állat. Minden kontinensen megtalálható, és fennmaradása több millió évig tartott.

<https://prehistoric-earth-a-natural-history.fandom.com/wiki/Lystrosaurus>

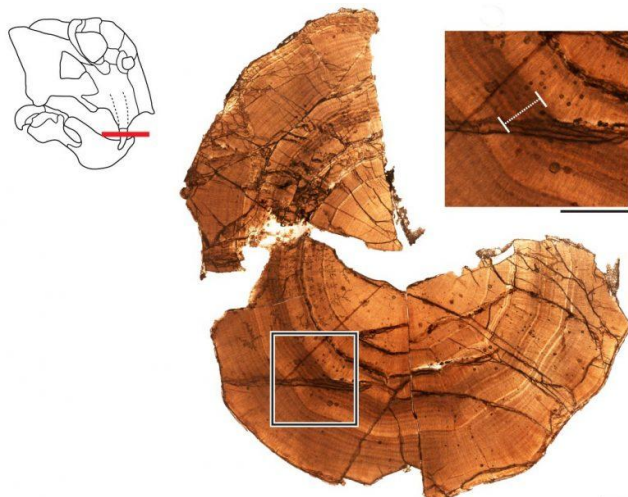
Ez a nem átvészelte a perm végi nagy kihalást, és rövid ideig terjeszkedtek, mielőtt kihalt a korai triászban. Az egyetlen eset, amikor egy faj ilyen elterjedté vált. Fennmaradásához az is hozzájárult, hogy képes volt táplálkozni a triászban gyakori száraz, szívós növényekkel.

A Communications Biology című szaklapban 2020. augusztus 27-én megjelent tanulmányukban a Harvard Egyetem és a Washingtoni Egyetem tudósai arról számoltak be, hogy a 250 millió évvel ezelőtt, a kora triász időszakban az Antarktiszon élt *Lystrosaurus* nemhez tartozó állat – amely az emlősök távoli rokona volt – hibernálásszerű állapotban vészelhette át a számára nehéz időszakokat.



(forrás: Megan Whitney és Christian Sidor, scitechdaily.com/evidence-of-hibernation-like-state-discovered-in-tusks-of-strange-250-million-year-old-antarctic-creature/)

A *Lystrosaurus* illusztrációs rajza.



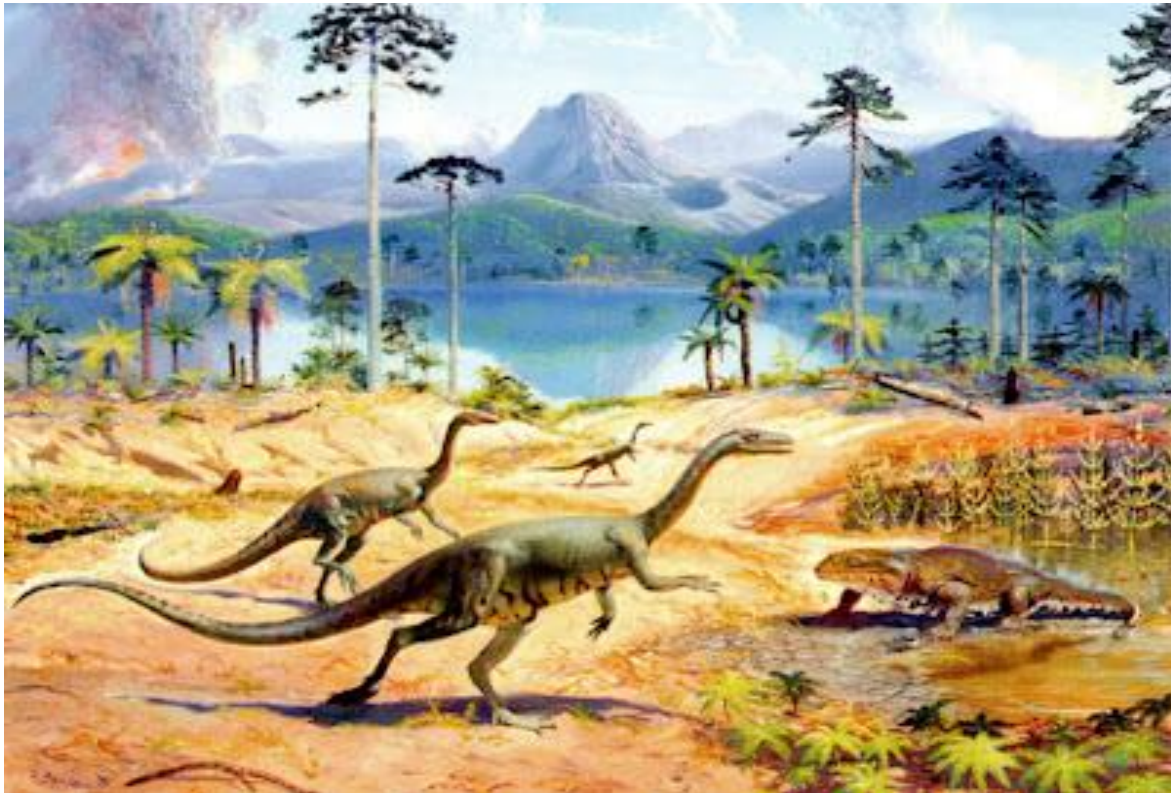
Az antarktiszzi *Lystrosaurus* fosszilizálódott agyarának ezen vékony része a növekedési gyűrűkben lerakódott dentin rétegeket mutatja. Az agyar belülről növekedett, a legrégebbi rétegek a szélén és a legfiatalabb rétegek a központ közelében helyezkednek el. A jobb felső sarokban a rétegek közeli nézete látható, egy fehér sávval, amely hibernálásszerű állapotot jelöl. Léptékjel 1 mm-es.

(forrás: Megan R. Whitney & Christian A. Sidor, Evidence of torpor in the tusks of *Lystrosaurus* from the Early Triassic of Antarctica, *Communications Biology* volume 3, Article number: 471 (2020), Published: 27 August 2020, www.nature.com/articles/s42003-020-01207-6.pdf, és phys.org/news/2020-08-fossil-evidence-hibernation-like-state-million-year-old.html)

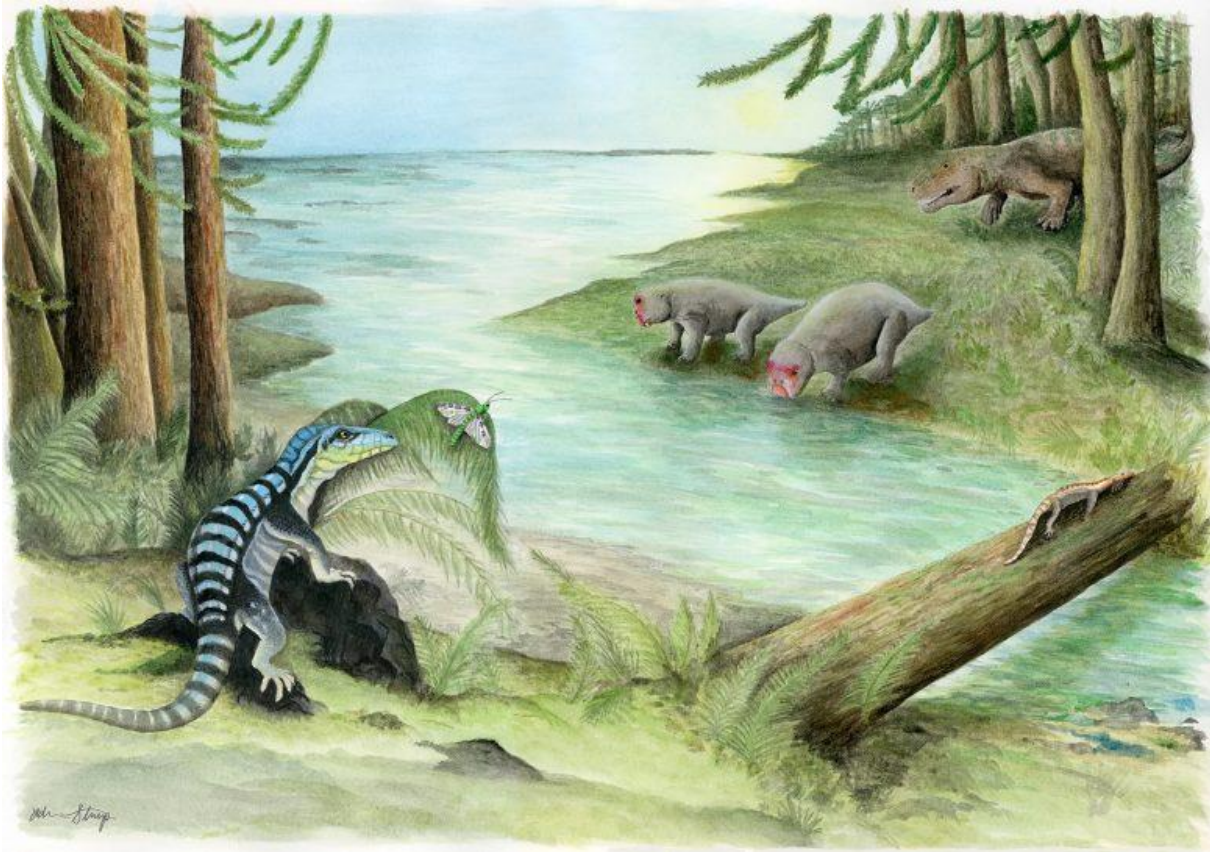
„A hidegvérű állatok gyakran teljesen leállítják anyagcseréjüket egy nehéz időszakban, de sok endoterm vagy „melegvérű” állat, amely hibernál, gyakran újraaktiválja anyagcseréjét a hibernálási időszakban” – írta Whitney. „Amit az Antarktisz *Lystrosaurus* agyaraiban megfigyeltünk, az illeszkedik a kis metabolikus „reaktivációs események” mintájához a stressz időszakában, ami leginkább hasonlít ahhoz, amit ma a melegvérű hibernátorokban látunk.” – állapították meg a szerzők a tanulmányukban.



(Illusztráció forrása: cdown.edu.jm/eLibrary_Jamaica_2019/wikipedia-schools-3.0.1/images/529/52905.jpg.htm)



(Illusztráció: Zdenek Burian: *Élet az ember előtt*, Gondolat kiadó 1976.)
Anchisaurus

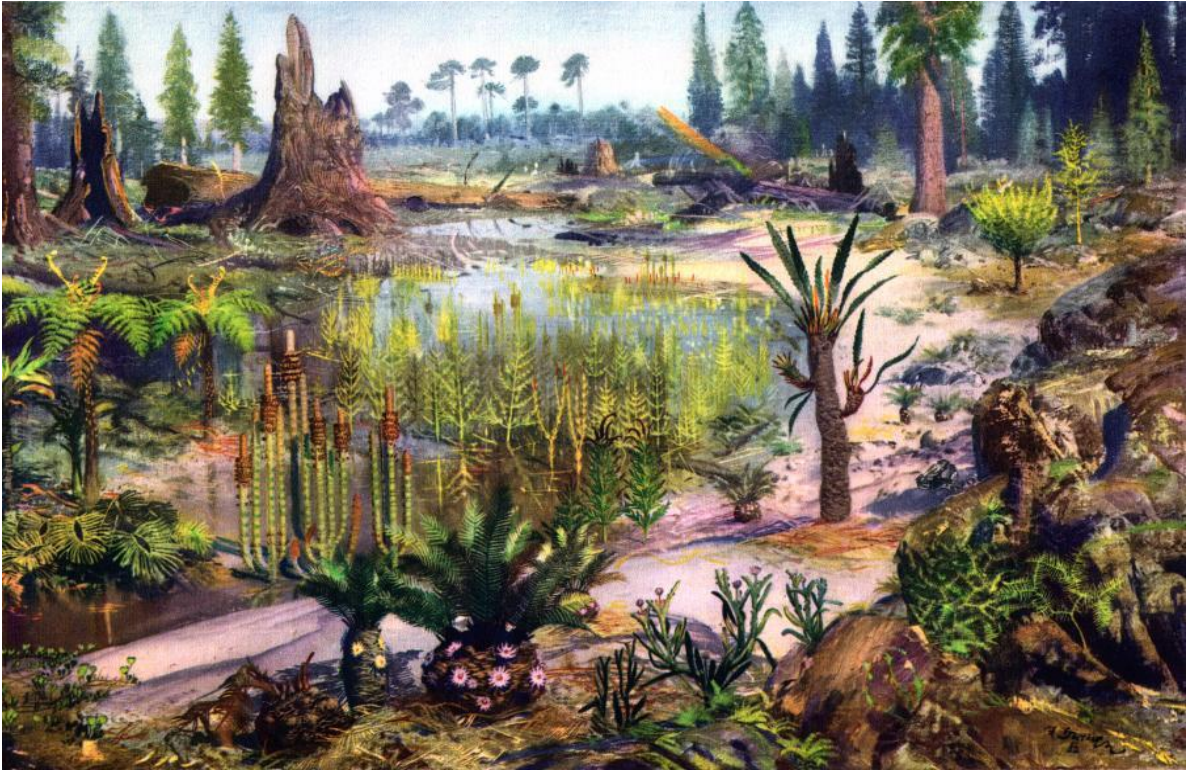


(illusztráció: Adrienne Stroup,
 Brandon R. Peacock, Roger M. H. Smith & Christian A. Sidor,
 A novel archosauromorph from Antarctica and an updated review of a high-
 latitude vertebrate assemblage in the wake of the end-Permian mass
 extinction, Article: e1536664, Published online: 31 Jan 2019,
<https://doi.org/10.1080/02724634.2018.1536664>, és
ng.hu/tudomany/2019/06/24/leguanszeru-oshullo-lakta-az-antarktiszi-erdosegeket/?fbclid=IwAR212svN7Do3KnJz_qJJb4OZdEAGhUXssaM9P_GBn_E8dLdpLaG8IcpBodU)

Antarctanax shackletoni az előtérben, távolabb Lystrosaurus murrayi látható a kora triász idejéből az Antarktiszi tájképen.

A Field Museum munkatársa Dr. Brandon Peacock által vezetett expedíció rengeteg fossziliára bukkantak a Transzantarktiszi-hegység lábainál, 2010–2011-ben. Többek között az *Antarctanax shackletoni* részleges csontvázát is sikerült begyűjteni a paleontológusoknak.

A legfeljebb másfél méteres őshüllő a szakértők elmondása alapján nem lehetett túl válogatós, valószínűleg kisebb kételtűeket vagy ízeltlábúakat zsákmányolhatott. A tanulmányukat a *Journal of Vertebrate Paleontology* virtuális hasábjain publikálták.



(Illusztráció: Zdenek Burian: *Élet az ember előtt*, Gondolat kiadó 1976.)



(forrás: www.nationalgeographic.com/science/prehistoric-world/triassic/)



(forrás: museumsvictoria.com.au/website/pages/17129/ImageGallery/1triassic-pic-42553.jpg)



(forrás: <https://intercontact.wordpress.com/2017/04/10/idoutazas-a-230-millio-eves-galaktikus-rulett/>)

A tengereket különböző új óslábasfejű (Ammonites) fajok minden képzeletet felülmúló tömegekben népesítették be. Napjainkban élő egyetlen neme, a Nautilus élő kőületnek számít.



A triász időszakban robbanásszerű fejlődésen mentek keresztül a hüllők a szárazföldeken, a tengerekben és a levegőben egyaránt. A triász időszak végén megjelentek az első emlősök is.



(forrás: www.secretsofuniverse.in/history-of-life-12-triassic-period/)
Marine Reptiles



(Forrás: www.wallpaperbetter.com/nature-and-landscape-wallpaper/nature-landscape-aerial-view-coast-beach-cliff-sea-mountain-clouds-rock-kauai-177499)



(forrás: dinosaurpictures.org/Eudimorphodon-pictures)
Eudimorphodon, pterosaur

A triász időszi Földön három nagyobb éghajlati öv különíthető el: az északi félteke száraz éghajlati öve, a trópusi nedves övhöz a Tethys-óceán északi szegélye, az északi sarkvidéken nedves és mérsékelt éghajlat uralkodott. Nincs bizonyíték eljegesedésre sem a sarkokon, sem azok közelében; a körülmények megfelelőek voltak a hüllőszerű élőlényeknek.

A Pangea nagy területe korlátozta a globális óceán mérséklő hatását; a kontinentális éghajlat erősen elkülönülő évszakokból, nagyon forró nyárból és hideg télből állt.

Az európai sekélytengerek később számos területen kiszáradtak, és különböző sókőzetek (evaporitok) alakultak ki, melyeket részben még ma is bányásznak Angliában, Németországban és Lengyelországban. A sólerakódásokat tartalmazó kőzetek hármastagozódást mutatnak, erre utal az időszak neve is (háromosztatú, azaz triász).

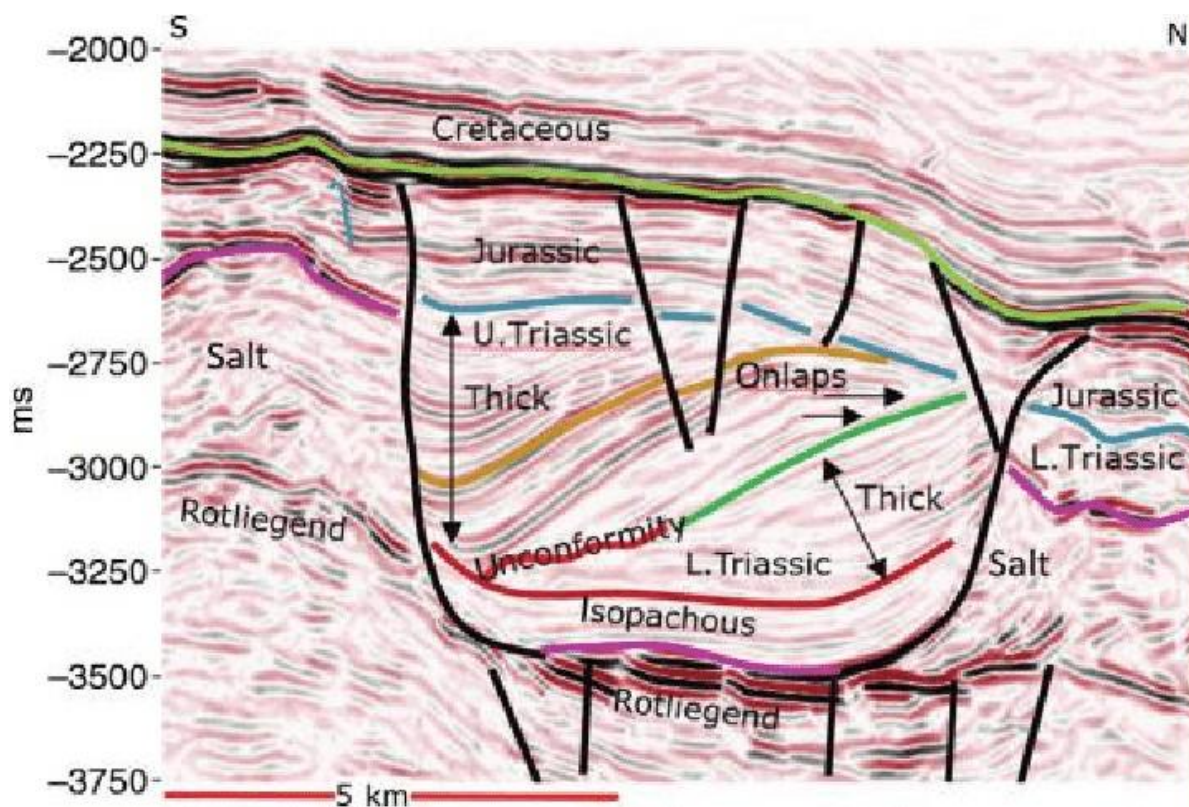


(forrás: afoldgomb.hu/magazin/a-foldgomb-2017-majus/holt-tenger-egy-haldoklo-to-szarazfold-alagsoraban)



(www.madnesshub.com/2019/04/fascinating-salt-mines-of-world-19-pics.html)

Sóbányászat.



(www.researchgate.net/figure/Seismic-time-section-displaying-internal-geometry-of-pod-sediments-The-Triassic-pod_fig4_274738416)

Az Északi-tenger középső részének triászkorú sótekonikája



(www.wikiwand.com/hu/Triász)

A középső triász szélső tengeri rétege, Utah délnyugati részén

A triász–jura kori kihálási esemény ~200 millió éve nagyságrendje szerint a negyedik legnagyobb a fanerozoós tömeges kihálások rangsorában. A tengeri családok mintegy 22%-a, a nemzetségeknek pedig 53%-a esett áldozatul, melyből faji szinten 80%-ot megközelítő kihálásra lehet következtetni.

(SEPKOSKI 1996) Eltűnt a legtöbb emlősszerű hüllő, nagytestű kételtű és sok dinoszauruszcsoport is.

A nagy kihálási események fő okaként egyrészt valamilyen égitest becsapódását, másrészt a földi vulkáni területek fokozott aktivitását, vagy a kettő együttes hatását tartják számon.

Egy új tanulmány szerint hatalmas vulkánkitörések idézhették elő a triász–jura kihálási eseményt.

A vulkánkitörések, amelyek képesek globális kihálást eredményezni, az igen hosszú időn át tartó bazaltáras események, ezek közül a legismertebbek a szibériai trap vagy a Dekkán-fennsíkot létrehozó trap kitörései.

A vulkanizmus a környezetre több különböző módon is hathat. Részben a légkörbe jutó vulkáni gázok klímamódosító és az óceánokat elsavasító hatásával, részben pedig közvetlenül az élővilágra ártalmas anyagok kibocsátásával.

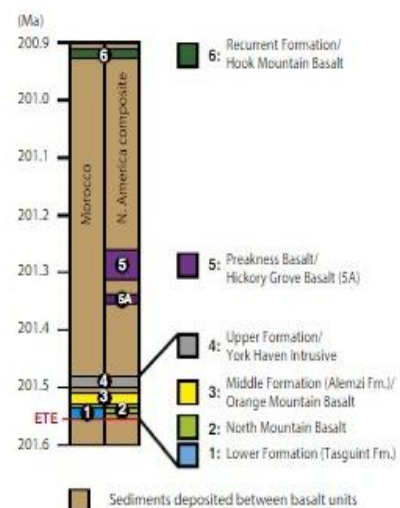
Az Oxfordi Egyetem szakértői által vezetett csapat négy kontinens kőzetmintáit elemezte. Az eredmények alátámasztják azt a korábbi elképzelést, mely szerint a kor kihálási eseményét a mai Brazíliában, Északnyugat-Afrikában, Délnyugat-Európában és Észak-Amerika keleti részén szétszórtnan fekvő Közép-atlanti magmás tartomány által kiváltott klímaváltozás idézte elő.

A szakértők az Exeteri és a Southamptoni Egyetem munkatársaival az Egyesült Királyságból, Ausztriából, Argentínából, Grönlandról, Kanadából és Marokkóból származó üledékminták higanytartalmát elemezték. Az elemgyakori a vulkáni gázokban, és sokáig képes a légkörben maradni, mielőtt elnyelődik. Éppen ezért jelenléte a tűzhányók aktivitásának jól mérhető nyoma.

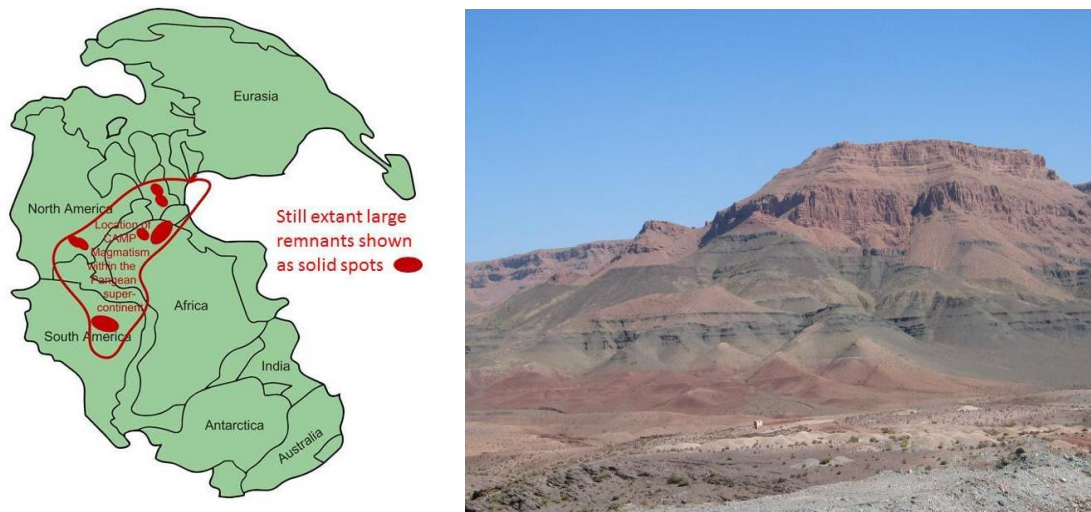


(eloadas.elte.hu/eloadasok/PJ_16mar16.pdf) és
(www.researchgate.net/publication/317741435_Mercury_evidence_for_pulsed_volcanism_during_the_end-Triassic_mass_extinction)

CAMP BASALT STRATIGRAPHY



A triász végén az egykor Pangea területén a CAMP (Central Atlantic Magmatic Province, vagyis Közép-Atlanti magmás provincia) közel 700 ezer évig tartó, és kb. 2,5 millió köbkilométer lávát eredményező bazaltáras kitörésére már elég rég lehetséges okozóként felmerült.



(ng.hu/fold/2019/10/28/vulkanoknak-koszonheto-a-triasz-vegi-kihalas/)

A vizsgált hat mintából ötben mutatták ki a higanyszint hirtelen emelkedését a kihálási eseménnyel egy időben. Az elem akkor jelent meg a legnagyobb arányban a mintákban, amikor a korábbi kutatások alapján az atmoszféra szén-dioxid-tartalma kicsúcsosodott.

Lawrence Percival, a csapat vezetője szerint az eredmények azt bizonyítják, hogy ismétlődő volt a vulkáni aktivitás a triász végén.

A Science Advances folyóiratban (advances.sciencemag.org/content/5/10/eaaw4018) megjelent új kutatás eredménye azt sugallja, közvetlenül az élővilágra ártalmas anyagok kibocsátása is hozzájárult a kihálási eseményhez.

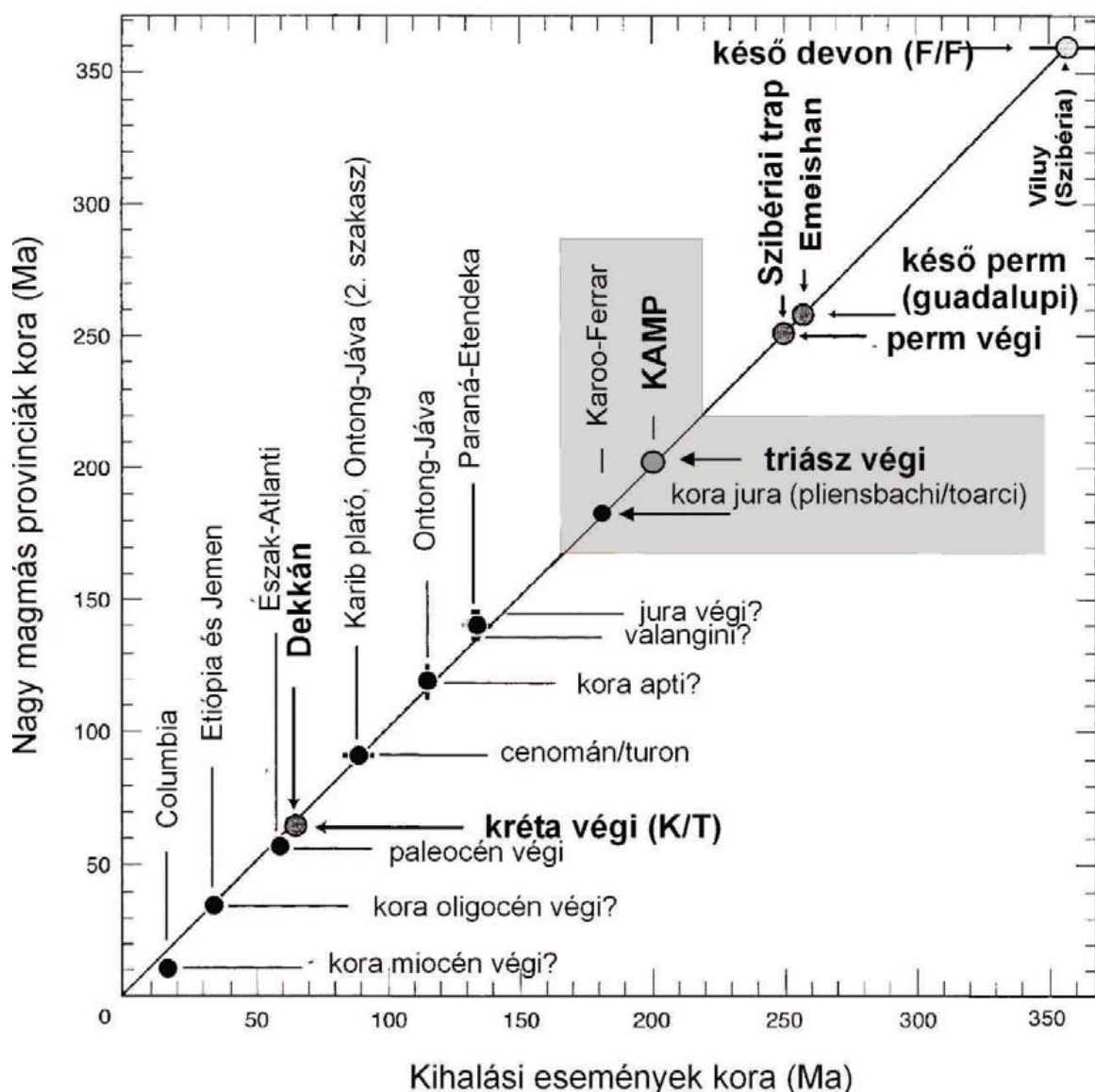
Nyugat-Európa területén végzett vizsgálatokat a kutatócsoport, növényi maradványokat kerestek, mégpedig különféle páfrányok spóráit, ezek sejtfala ugyanis igen ellenálló és jól megőrzi eredeti alakját a kőzetrétegekbe zártan is. A vulkánokból kibocsátott mérgező elemek és vegyületek hatásai ismertek, s tudjuk, hogy pl. a nehézfémek miatt milyen változások következnek be a növények pollenjében vagy spórájában. Az ilyen mutációk felismerhetően eltérnek attól, amit pl. az aszályok vagy más, hétköznapi környezeti tényezők váltanak ki. A 200 millió éves rétegek mikroszkopikus maradványait elemezve kiderült, hogy a spórákon olyan jellegzetes mutációk láthatóak, amelyek a higanymérgezés hatására alakultak ki.

A vizsgált rétegekben a spórák közt a mutánsok aránya a 70 százalékot is elérte az egészséges növény esetén szokásos 5 százalék alatti értékhez képest.



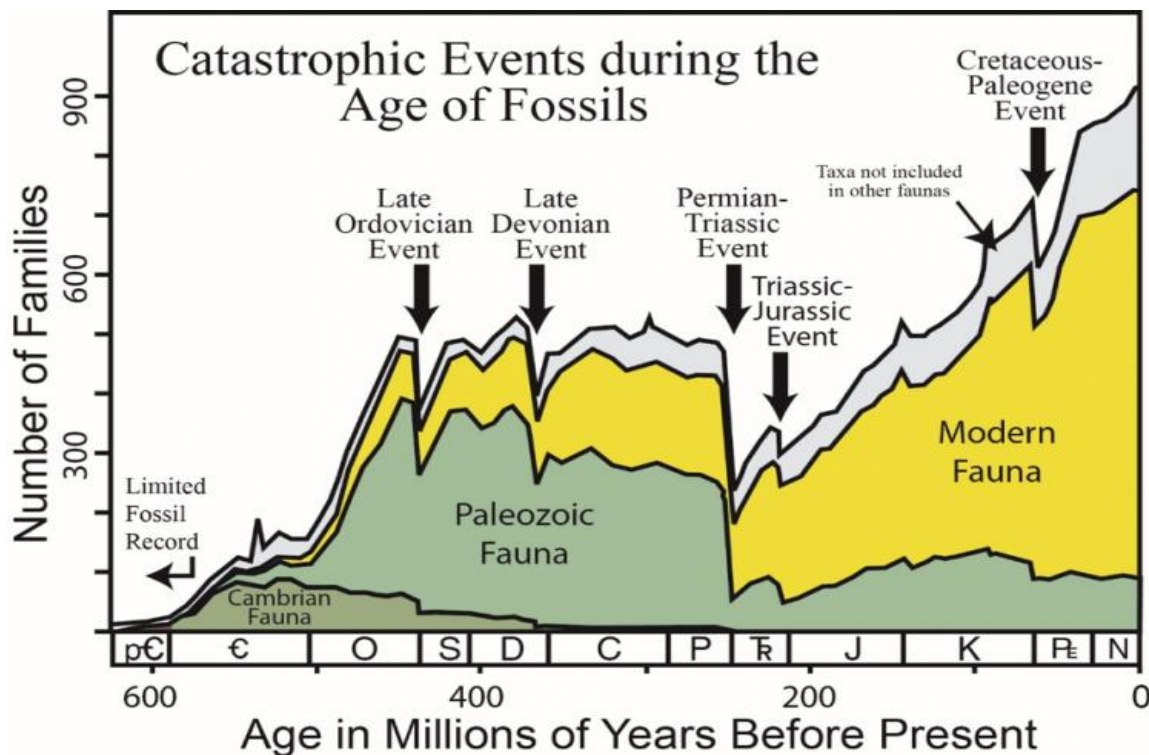
(histoiredutemps.free.fr/terrestre/paleozoique/permien.extinction.htm,
és <https://blog.syti.net/index.php?article=325>)

A KAMP vulkanizmus és a triász–jura krízis egyidejűsége egyre több oldalról nyer megerősítést és ok-okozati kapcsolatuk egyre inkább megalapozott. Tágabb értelemben a triász–jura határesemény fontos esettanulmánya marad az árbazalt vulkanizmus és/vagy égitest becsapódás valamint a globális környezetváltozás és tömeges kihalás általános összefüggéseit vizsgáló kutatásoknak (MORGAN et al. 2004, GLIKSON 2005, KELLER 2005, WHITE & SAUNDERS 2005).



A kihalások és nagy magmás provinciák korának korrelációja (Courtilot & Renne 2003 nyomán).

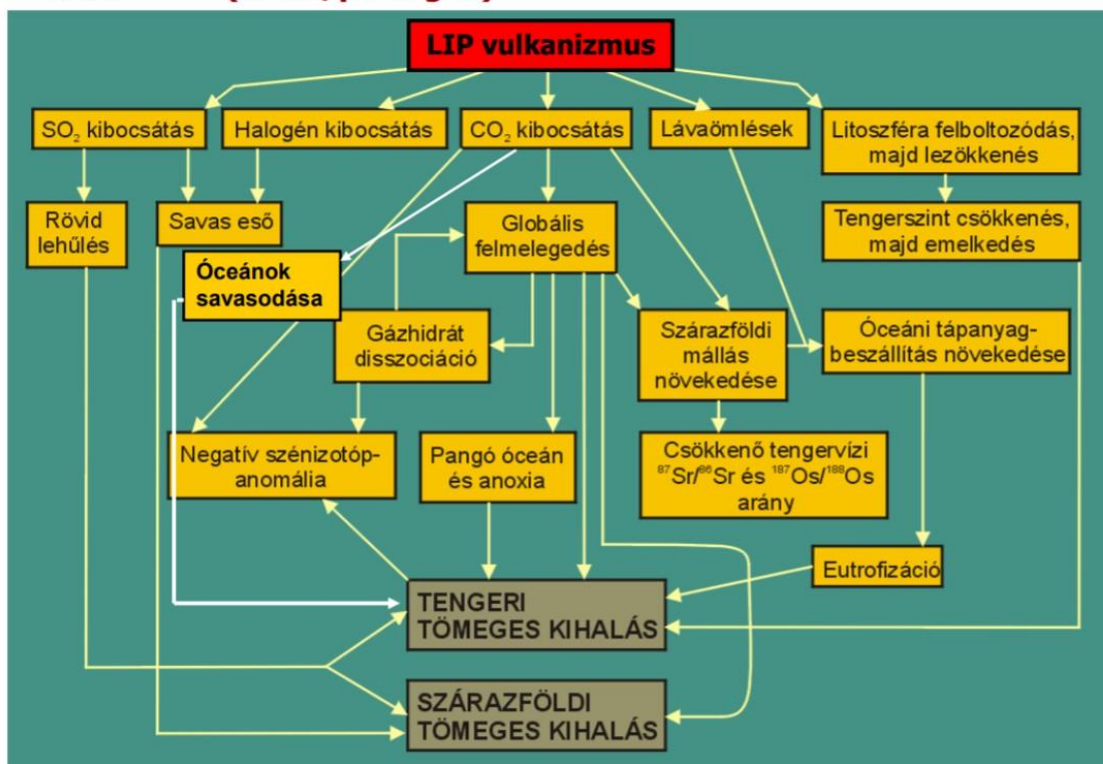
(forrás: Pálffy József, A triász végi és a kora jura tömeges kihalás, Hantken Kiadó Budapest, 2006., academia.edu/3159881/A_triasz_vegi_es_a_kora_jura_tomeges_kihalas, és <https://adoc.tips/queue/a-triasz-vegi-es-a-kora-jura-tomeges-kihalas.html>)



(forrás: outrider.org/climate-change/articles/extinctions/)

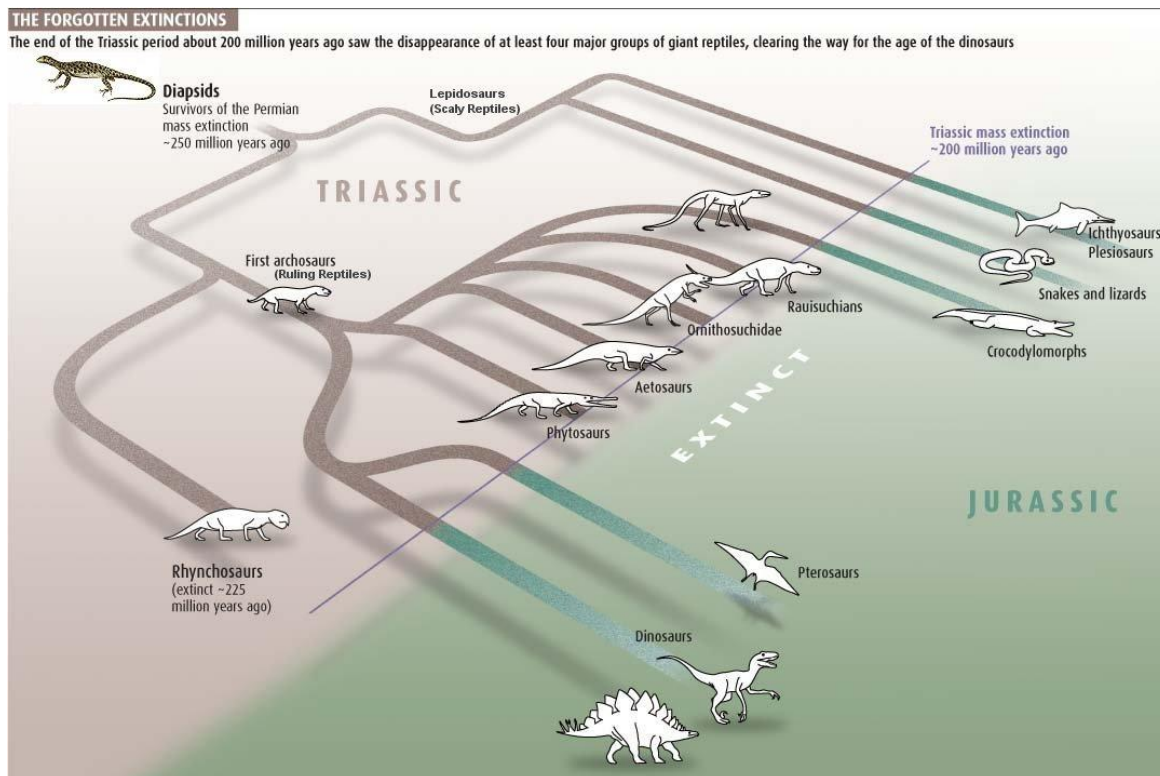
Szibériai trap (perm/triász)
KAMP (triász/jura)
Dekkán (kréta/paleogén)

Ok-okozati összefüggések



Wignall (2001) nyomán, módosítva

(forrás: eloadas.elte.hu/eloadasok/PJ_16mar16.pdf)



(forrás: <http://thedragonstales.blogspot.com/2012/08/triassic-jurassic-boundary-extinction.html>, és <https://2.bp.blogspot.com/-BbGDOKc8EC4/UCxCx7Pig6I/AAAAAAAAACqk/jdDgEkWD7hE/s1600/I10-33-Triassic2.jpg>)

A triász-júra határán kihalt dinoszauruszok.



(forrás: [afp/science photo library/mark garlick](http://afp/science-photo-library/mark-garlick))

A higany rendkívül erős mérég az élő szervezetek számára, többek közt a szaporodásukat is képes megakadályozni, a spórákban is láthatóvá vált súlyos mutációk révén. A kutatók a spórákkal egyidős üledékrétegekben a higany emelkedett szintjét, a normál háttérérték öt-hatszorosát is kimutatták, s ezt egyébként e triász végi rétegekben másutt is megtalálták már. A higany ráadásul felhalmozódik az élőlényekben, végighalad a táplálkozási láncon.

A triász végén a növények pusztulásához bizonyosan hozzájárult a vulkáni eredetű, jelentősen megnövekedett higany is, így a higany okozta mutációk azt az elméletet erősítik, amelyek a kihalási hullámot a CAMP hatalmas vulkánkitöréséhez kötik.

A cirkon kristályrácsába épült radioaktív urán izotópok állandó ütemben bomlanak ólom izotópokká. Az izotópok arányát egy érzékeny műszerrel, a tömegspektrométerrel mérve kiszámítható a kőzet képződésének kora. A kutatók az elmúlt években számos izotópos kormeghatározással 200 millió év körülire tették a Közép-Atlanti Magmás Provincia keletkezésének korát is. Az elmúlt félmilliárd év egyik legnagyobb lávaömlésével járó, időben pedig geológiai mércével mérve gyors lefolyású vulkáni epizódról bizonyítást nyert, hogy egyidős a triász végi eseményekkel. Ezért nem alaptalan azt feltételezni, hogy ez indíthatta el a környezeti és élővilágbeli változásokat. Mindezzel egyidőben a szénkörforgás is kizökkent a megszokott kerékvágásból.

Az MTA-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport Csóváron a világon az elsők között ismert fel olyan eltolódást a szénizotóp-összetételben, amely a szénkörforgás rövid távú átrendeződésére, így közvetve komoly környezet- és éghajlatváltozásra utal. A tengervíz és a légkör szén-dioxid tartalmában a könnyű szénizotóp aránya megnőtt, amit több tényező is okozhatott. Egy lehetséges forgatókönyv szerint a vulkánkitörések során a légkörbe jutott nagy mennyiségű szén-dioxid, amely maga is izotóposan könnyű összetételű, globális felmelegedést indított el. Az óceáni áramlások átrendeződése tovább erősítette a mélytengeri vízrétegek melegedését, ami pedig a tenger alatti üledékben fagyott állapotban csapdázódott, biogén eredetű metán felszabadulásához vezetett. Ez a metán nemcsak izotóposan rendkívül könnyű, így magyarázhatja a mérésekkel kimutatott triász végi szénizotóp kiugrást, de egyben igen hatékony üvegház-gáz is. A szén-dioxidnál tízszer nagyobb mértékben járul hozzá az üvegházhatáshoz, ami által a Föld elszabaduló felmelegedési spirálba kerülhetett. Ez az éghajlatváltozás lehetett a kihalás közvetlen kiváltó oka, hiszen például a tengeri zátonyok életközössége csak meghatározott hőmérsékleti tartományhoz tud alkalmazkodni. (forrás: www.paleo.hu/hu/triasz_vegi_kihalasok)



(www.pesonaindo.com/tempat-wisata-alam-di-jawa/pananjakan-bromo/)

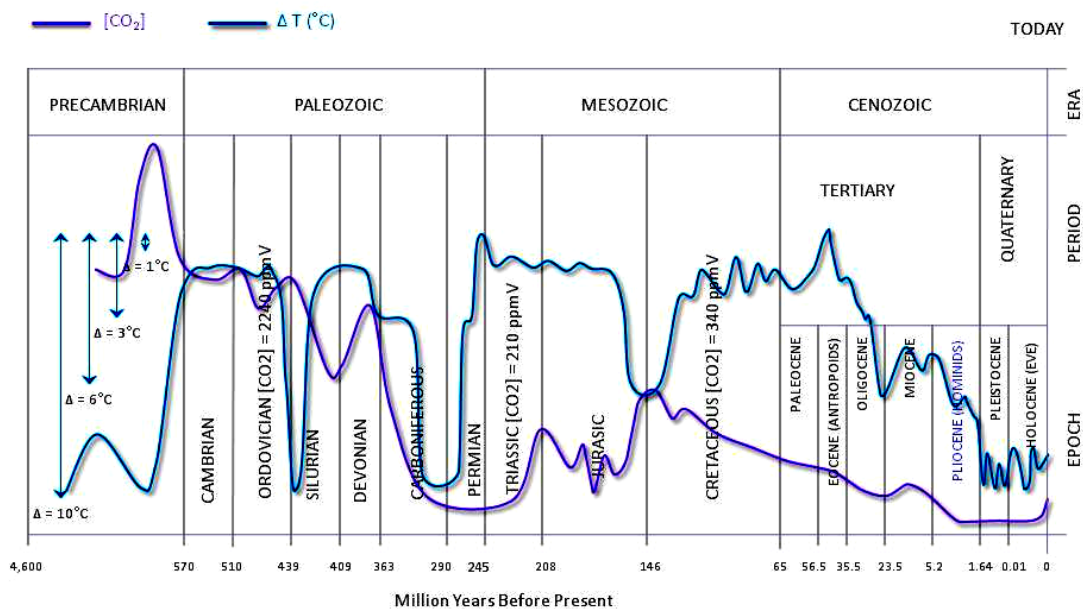


(fillusztráci forrása: wallup.net/nature-explosion-lava-volcano/)

A tűzhányók kitörésével olyan finom részecskék kerülnek a levegőbe, melyek az atmoszférában felhalmozódva visszaverik a napsugarakat. Ez adott esetben csökkentheti a felszíni hőmérsékletet.

Az új tanulmány szerint valószínű, hogy a szén-dioxid és a felmelegedés is hozzájárult az élővilág pusztulásához.

Geological Timescale: Concentration of CO₂ and Temperature fluctuations



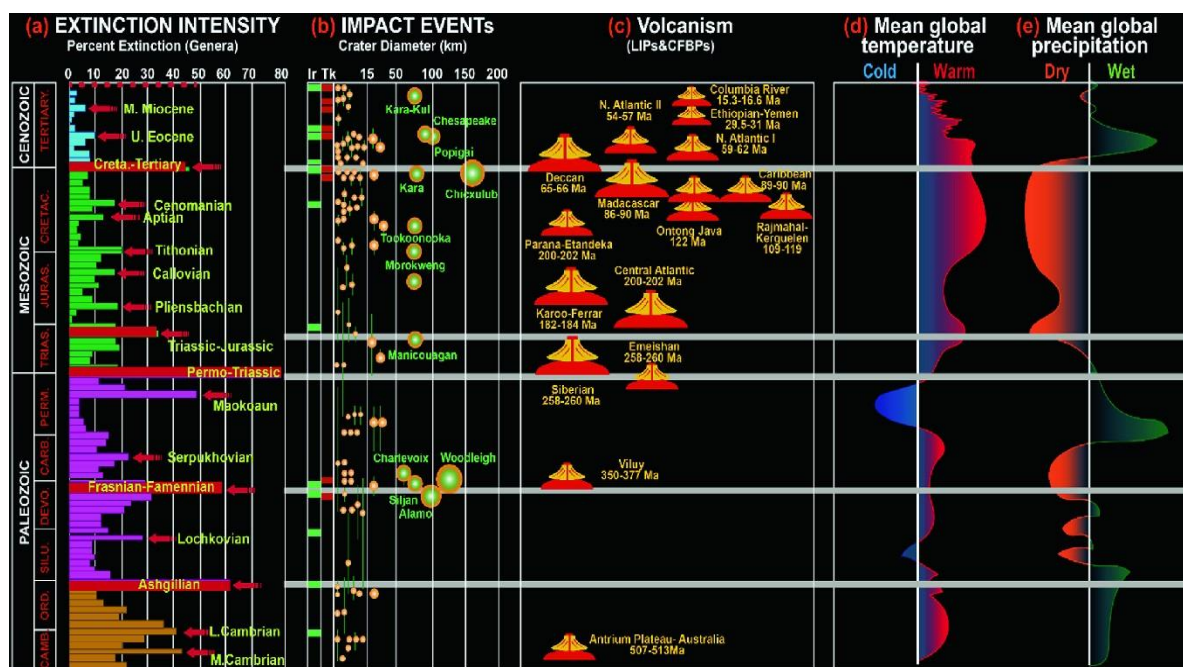
1- Analysis of the Temperature Oscillations in Geological Eras by Dr. C. R. Scotese © 2002. 2- Ruddiman, W. F. 2001. *Earth's Climate: past and future*. W. H. Freeman & Sons. New York, NY. 3- Mark Pagani et al. *Marked Decline in Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations During the Paleocene*. Science; Vol. 309, No. 5734; pp. 600-603. 22 July 2005. *Conclusion and Interpretation* by Nasif Nahle ©2005, 2007. Corrected on 07 July 2008 (CO₂: Ordovician Period).

(forrás: www.biocab.org/carbon_dioxide_geological_timescale.html)

A szén-dioxid arányának emelkedése súlyos következményekkel járhat. A gáz szintjének növekedése a hőmérséklet emelkedését és az óceánok elsavasodását váltja ki, ez pedig jelentősen átalakíthatja a szárazföldi és vízi ökoszisztémákat.



(forrás: premiercosmeticos.es/wp-content/uploads/2020/04/deadsea.jpg)



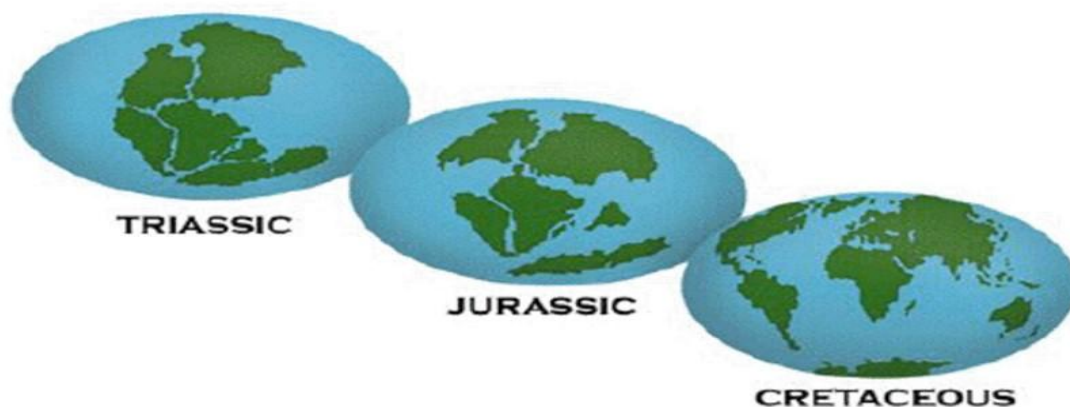
(forrás: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-41629-4_2)

A triász és a jura határát jelölő esemény minden idők egyik legnagyobb kihalási hulláma volt. Nem tudni, hogy a korai dinoszauruszok, kételtűek és emlősök hogyan vészelték át ezt az időszakot, de végül sikerült betölteniük azt az ökológiai űrt, melyet elődeik felszívódása hagyott.

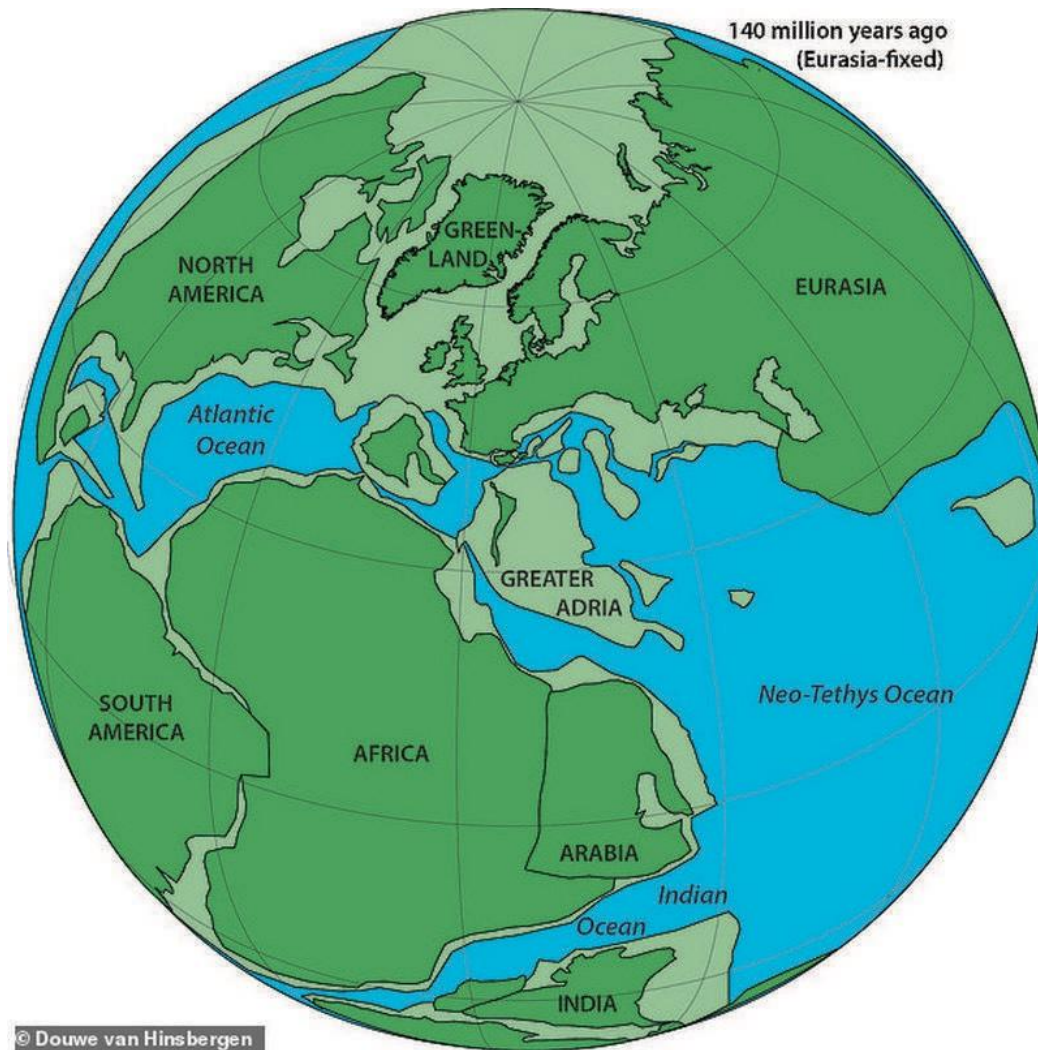
(<https://24.hu/tudomany/2017/06/22/hatalmas-vulkankitoresektol-lettek-sikeresek-a-dinoszauruszok/>).

A kihalással úgy nevezett biológiai fülke jött létre, ez tette lehetővé, hogy a dinoszauruszok kezdjék el uralni a bolygót.

A triász elején még egységes Pangea kezdett feldarabolódni. Kialakultak a mai Afrika, Eurázsia és Amerika kontinensek elődei. A szétválás a jura és a kréta időszakban volt a legintenzívebb. A teljes időszak melegebb volt a mainál, jégkorszakok a meglévő leletekben nem fedezhetők fel.



(Animáció: www.facebook.com/watch/?v=1592482090797564)



(forrás: Douwe J.J. van Hinsbergen, Trond H.Torsvik, Stefan M.Schmid, Liviu C. Mañenco, Marco Maffione, Reinoud, L. M. Vissers, Derya Gürer, Wim Spakman, Orogenic architecture of the Mediterranean region and kinematic reconstruction of its tectonic evolution since the Triassic, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.009>, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X19302230#ab0010)

Van egy elsüllyedt kontinens Európa alatt. „Nagy-Adria” körülbelül 240 millió évvel ezelőtt alakult ki, miután levált Gondvanáról, és a mai Alpoktól egészen Iránig terjedt, de nem emelkedett az egész kontinens a tenger fölé. Ez azt jelenti, hogy valószínűleg egy sor sziget vagy szigetcsoport is alkotta – írta Douwe van Hinsbergen, a hollandiai Utrecht Egyetem Földtudományi Tanszékének kutatója. 100–120 millió évvel ezelőtt „Nagy-Adria” az eurázsiai kőzetlemez alá csúszott a mai Dél-Európa területén, de a kőzetek egy része túl könnyű volt ahhoz, hogy a földköpenybe süllyedjen, ezért gyűrődtek és kiemelkedtek. Ez a gyűrődés olyan hegyláncokat hozott létre, mint az Alpok.

A jura időszak (201 - 145 millió évvel ezelőtt) a „Hüllők kora” vagy „Dinoszauruszok kora” néven ismert időszak. Kezdetét a nagy triász–jura kihálási esemény jelzi, a végén azonban nem történt tömeges pusztulás.



(forrás: www.researchgate.net/figure/Reconstruction-of-a-volcanic-landscape-in-central-Skane-during-the-late-Early-Jurassic_fig8_299978272)

Éghajlata valamivel hűvösebb mint a triászban, a száraz, kontinentális körülmények lassan enyhültek a jura során, különösen a magasabb szélességi körökön, a meleg, nedves éghajlat pedig lehetővé tette, hogy a felszínt buja dzsungel borítsák be. Grönlandon és a Déli sarkvidéken is gazdag növényzet enyhe éghajlat volt.

A jurában a dinoszauruszok mellett a növényvilágban a nyitvatermők uralkodtak, erős xeromorf sajátosságokkal. A domináns nyitvatermő osztályok közé tartoztak a cikászok, a bennettitalesek, a fenyők és a páfrányfenyők. Az aljnövényzet fő alkotóelemei a kisebb harasztok lehettek. A kor másik fontos növénycsoportja a Caytoniaceae magvaspáfrányok voltak, melyek az elképzelés szerint bokor és kisebb faméretűek lehettek. A ginkgók főként a középső és északi szélességi körökön voltak gyakoriak. A déli félgömbön a kőtiszafafélék különösen sikeresek voltak, míg a ginkgók és a Czekanowskia-k ritkán fordultak elő.

Megjelennek a szöcskék, tücskök, az első kétszárnyúak, az első hártványasszárnyúak.



(forrás: hu.pinterest.com/pin/390828073897271668/)

Főként a jura időszakban alakult ki a növényevő fajok között 30 méter hosszúságúak, amelyeknek testtömege elérte az 50-70 tonnát is, de ott éltek a kisebb testűek is, közöttük az emlősszerű őshüllők, a valódi emlősök előfutárai.



(forrás: www.deviantart.com/karencarrstudio/art/Jurassic-Landscape-by-Karen-Carr-788533193)



(forrás: <https://intercontact.wordpress.com/2017/04/10/idoutazas-a-230-millio-eves-galaktikus-rulett/>)



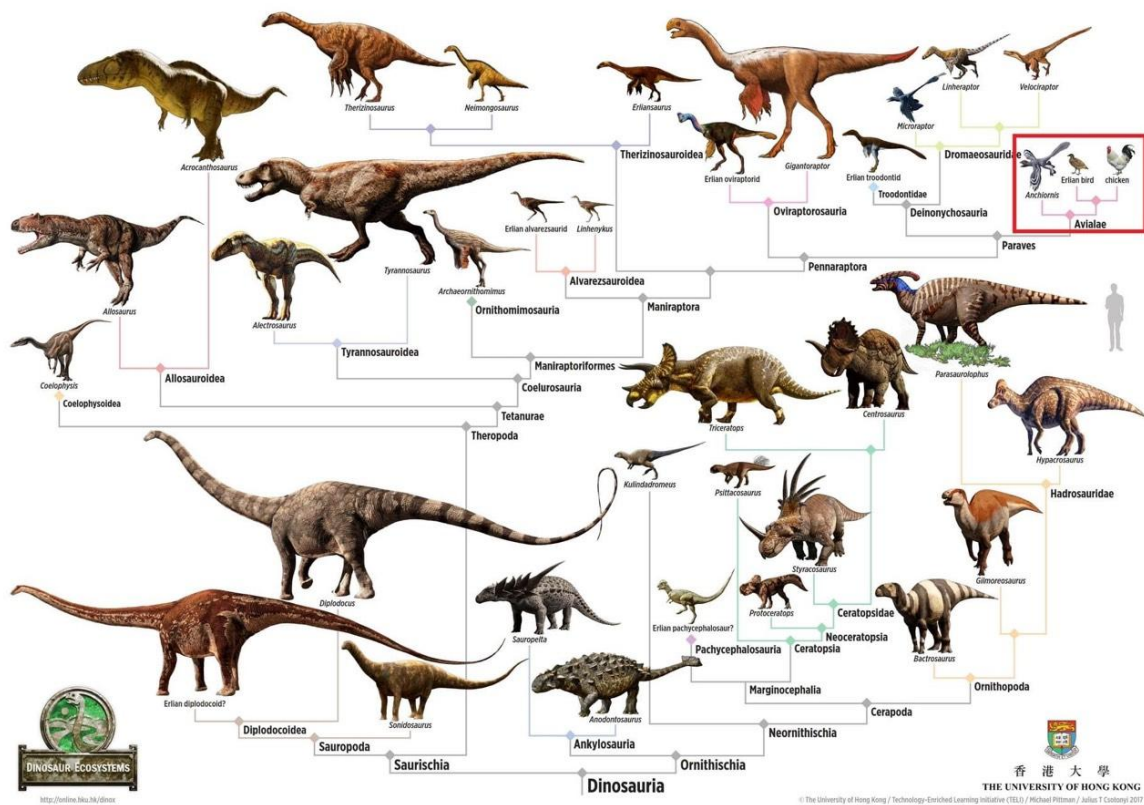
(Illusztráció: Zdenek Burian: Élet az ember előtt, Gondolat kiadó 1976.)

A madarak a dinoszauruszok Theropoda nevű csoportjából – ide tartozik a Tyrannosaurus rex és a Velociraptor is – fejlődtek ki.

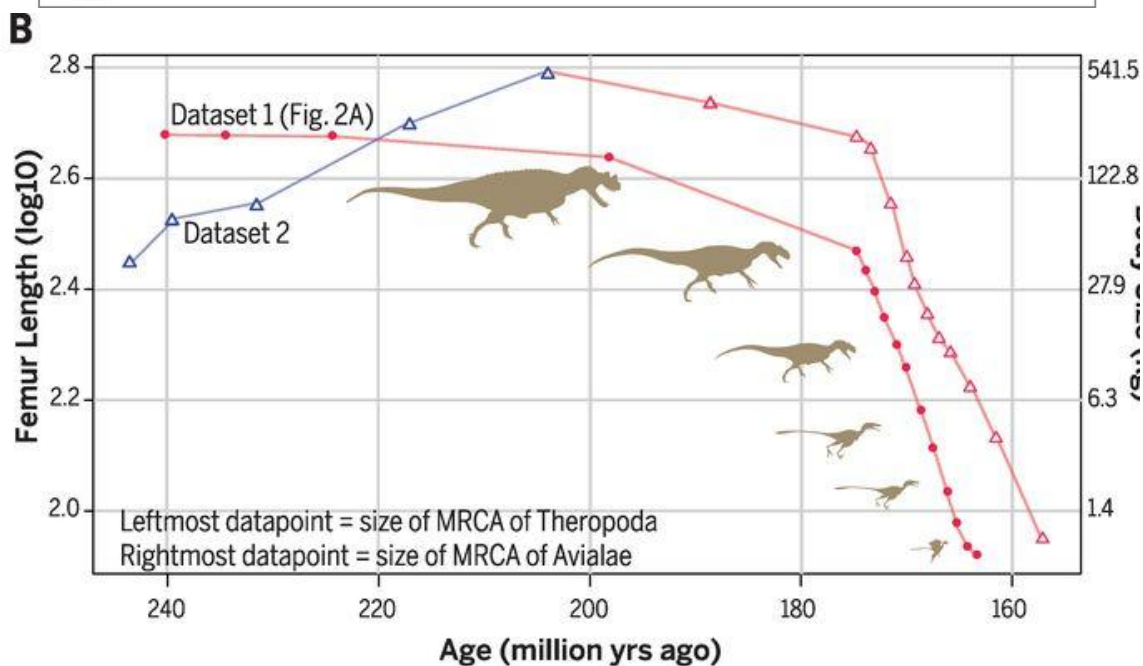
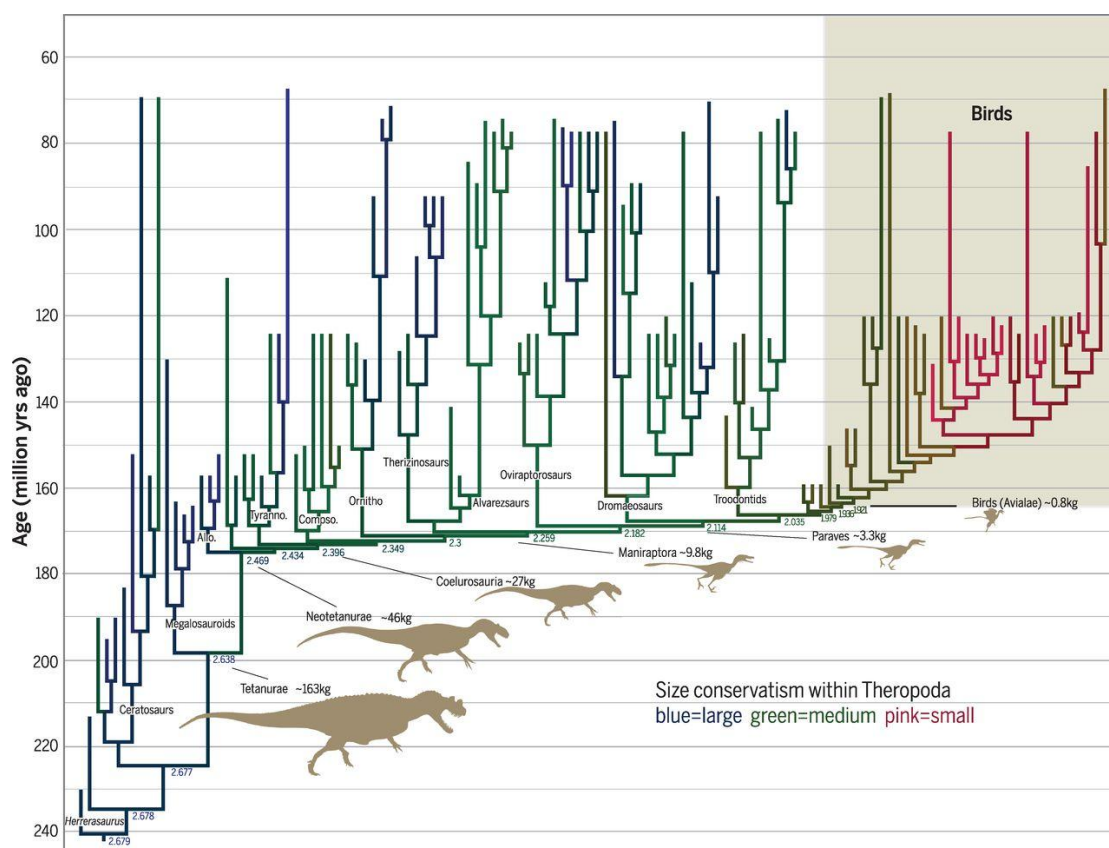
A Science című folyóiratban (Michael S. Y. Lee, Andrea Cau, Darren Naish, Gareth J. Dyke, et.al., Sustained miniaturization and anatomical innovation in the dinosaurian ancestors of birds, Science 01 Aug 2014, Vol. 345, Issue 6196, pp. 562-566, DOI: 10.1126/science.1252243, science.sciencemag.org/content/345/6196/562) közzétett eredmények szerint a később madarakká fejlődő dinoszaurusz csoport körülbelül 200 millió évvel ezelőtt gyors ütemű zsugorodásba kezdett: testsúlyuk a legnagyobb fajok átlagát jelentő 163-ról 0,8 kilogrammra fogyatkozott, mielőtt a mai értelemben vett madarakká fejlődtek. Az első madárnak tartott Archaeopteryx, amelyre gyakran német néven, Urvogelként (ősmadár) hivatkoznak, körülbelül 150 millió évvel ezelőtt élt, azaz a “gyors” zsugorodási periódus mintegy 50 millió évet tett ki.

A kutatók rámutatnak arra is, hogy a folyamatosan csökkenő testméret kizárólag a Theropoda-dinoszauruszok sajátossága volt.

A madárrá fejlődő dinoszauruszok evolúciója, során az őslények teste is átalakult – megjelentek a szárnyak, a tollazat és a villacsont – megtanultak többek között fára mászni és repülni, és ennek köszönhetően, hogy a többi dinoszaurusszal szemben túléltek a kréta-tercier nagy kihalási eseményt. (www.dinosaurhome.com/dinosaurs-shrank-regularly-to-become-birds-35824.html).



(www.facebook.com/DinosauriosABC/photos/a.955399571179035/2492903460761964/?type=3)

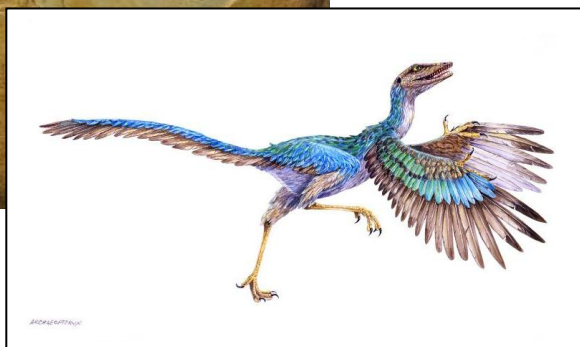
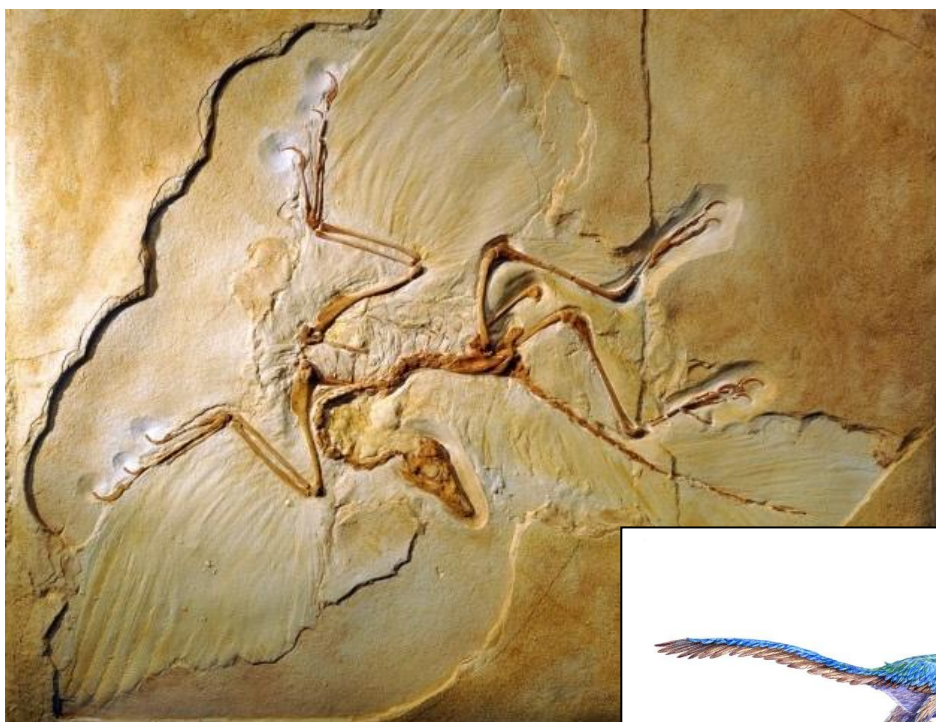


(forrás: Lee Michael S.Y., Andrea Cau, Darren Naish, University of Southampton, Gareth J Dyke, University of Debrecen (Hungary) & Babeş-Bolyai University (Romania), Dinosaur evolution. Sustained miniaturization and anatomical innovation in the dinosaurian ancestors of birds, August 2014 *Science* 345:562-566, DOI: 10.1126/science.1252243. www.researchgate.net/publication/264386153_Dinosaur_evolution_Sustained_miniaturization_and_anatomical_innovation_in_the_dinosaurian_ancestors_of_birds, és <https://science.sciencemag.org/content/345/6196/562>)



(forrás: <http://sciencecafe-wichita.com/wp-content/uploads/2019/10/Jurassic-Lark.jpg>)

Megjelentek az első madarak, amelyek ugyancsak hüllőszerű átmeneti alakokból fejlődtek.



(forrás: australianmuseum.net.au/learn/dinosaurs/bird-like-dinosaurs/)

Az egyik leghíresebb ősmaradvány a solnhofeni jura Archaeopteryx. Galamb méretű volt és mind a hüllőkre, mind pedig a madarakra jellemző bélyegeket is hordozott

Miközben Jimbo, a Supersaurus megkövesedett maradványait tárták fel 2001-ben Wyoming állam területén, az ásatás résztvevői váratlan felfedezést tettek: a hozzávetőlegesen 150 millió éves (a késő jura idejéből származó), a világhírű Morrison-formációhoz tartozó kőzetrétegekben kisebb kőületeket találtak a jókora növényevő fossziliái mellett. Eleinte úgy gondolták, hogy egy pteroszaurusszal (vagyis repülő őshüllővel) lesz dolguk, ám mint utóbb kiderült, ezúttal egészen másról volt szó.

Scott Hartman, a University of Wisconsin-Madison munkatársa kollégáival, a PeerJ folyóirat publikálta tanulmányt. A szakértők közös munkájukban egy korábban ismeretlen, kistermetű ragadozó dinoszauruszról számoltak be, melynek a Hesperornithoides miessleri nevet adták.

(Scott Hartman, Mickey Mortimer, William R. Wahl, Dean R. Lomax, Jessica Lippincott, David M. Lovelace, A new paravian dinosaur from the Late Jurassic of North America supports a late acquisition of avian flight, Research article Evolutionary Studies Paleontology Taxonomy, Published July 10, 2019 PubMed 31333906, https://peerj.com/articles/7247/?fbclid=IwAR0JzEVvQfurqmdG1YqSI8ccsN0IVImBFS7vd9fIv_MRNqHoh2CSW8RRks4)

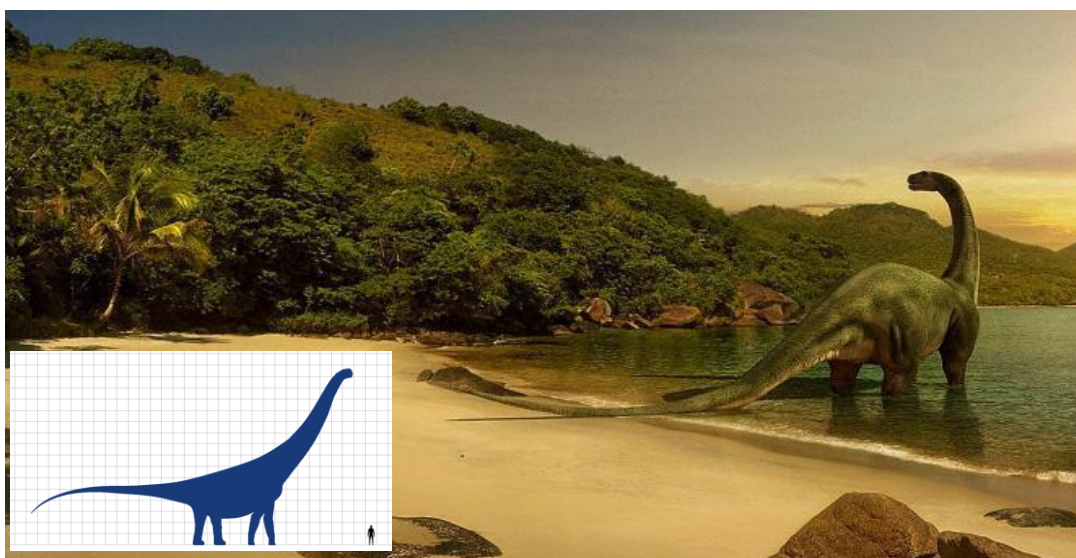


(illusztráció: Gabriel Ugueto, www.nationalgeographic.com/science/2019/07/new-dinosaur-species-velociraptor-cousin-lori-may-upend-flight-evolution-theories/?fbclid=IwAR10o1w3QG)

Két Hesperornithoides vadászik a sűrű aljnövényzetben.



(forrás: www.facebook.com/DinosauriosABC/photos/pcb.3436066606445640/3435933059792328/)



(forrás: www.goodfon.com/wallpaper/fantaziya-dinozavr-more.html)



(forrás: Prehistoric beauty | Maridav/Shutterstock,
<https://theculturetrip.com/north-america/usa/hawaii/articles/11-jurassic-park-spots-that-you-can-actually-visit/>)



(Illusztráció: Zdenek Burian: *Élet az ember előtt*, Gondolat kiadó 1976.)



(illusztráció forrása: https://morezprav.cz/wp-content/uploads/2019/04/upraveny_7f1db3086961ddf4e7f22564d425cef6-1024x683.jpg)



(forrás: <https://www.pinterest.co.uk/pin/638807528374425412/>)



(forrás: www.csotonyi.com/PrehistoryDigital.html Save Print és dinosaurpictures.org/Dsungaripterus-pictures)

A Dsungaripterus pterozaurusz, egyfajta repülő hüllő volt a késő Jura-korai Kréta időszakban.



(phys.org/news/2020-04-fossils-rewrite-story-dinosaurs-spinosaurus.html)



(www.facebook.com/LAngoloDellaGeologia/photos/a.109771225735332/3785180018194416)

Az ammonitok a Jurassic tengereiben (200 millió évvel ezelőtt) csúcsragadozók voltak, jó látásukat és csápokot használtak a zsákmány elfogásához, mielőtt erős csőrükkel összetörték őket.



(forrás: meisphotography.com/wp-content/uploads/2018/09/Jurassic.jpg)



(www.sciencephoto.com/media/502292/view/jurassic-landscape-artwork)



(forrás: hu.pinterest.com/pin/547398529679442714/)

A jura időszak végeének idejéből származó leletekből ismerhetők meg az erszényesek (Marsupialia) valamint a méhlepényes emlősök (Placentalia), amelyek embrióit méhlepény (placenta) köti össze az anya szervezetével. A szárazföldi őshüllők tekintélyes része kipusztult, míg a kezdetleges emlősökből kialakultak az ősi jellegű rovarévó emlősök (Insectivora). Ezekről közvetlen leszármazási vonal vezet az első főemlősökhöz (Primates).



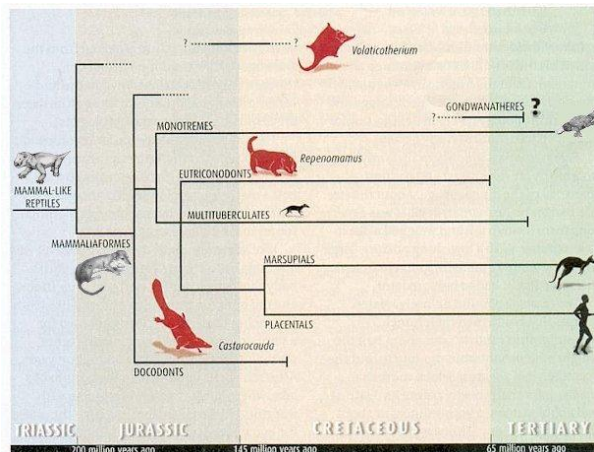
(forrás: www.angelfire.com/mo2/animals1/mammal/insectivora.html)

Insectivora (rovarévó), egy régebbi biológiai csoportosítás az emlősök osztályába.



A Carnegie Természettudományi Múzeum paleontológusa, Zhe-Xi Luo vezette azt a kutatócsoportot, amelynek amerikai és kínai tagjai leírták a *Juramaia sinensis* fajt („kínai jura időszi anya”). Az északkelet-kínai Liaoning tartományból származó példány kisméretű, cickányszerű emlősállat volt, amely 160 millió évvel ezelőtt, a jura időszakban élt a mai Kína területén.

A *Juramaia* a jelenleg ismert legkorábbi Eutheria - ebbe az alosztályba tartoznak a ma élő méhlepényes emlősök és kihalt rokonaik.



Mivel ez a méhlepényes emlősök legkorábbi ismert képviselője, a *Juramaia* fontos bizonyítékkal szolgál azzal kapcsolatban, hogy mikor váltak el az eutheriák a többi emlősállattól: a metatheriáktól (ezek közé tartoznak az erszényes állatok, például a kenguruk) és a monotrematáktól (tojásrakó emlősök, például a kacsacsőrű emlős).

(forrás: universe-review.ca/I10-33-earlymammals1.jpg)

A leggyakoribb és legelterjedtebb mai emlősök a méhlepényesek, amelyek gyakorlatilag minden elérhető élőhelyet birtokba vettek, és a dinoszauruszok kihalása óta uralják a szárazföldi területeket.

A DNS-vizsgálatok alapján az eutheriák körülbelül 160 millió évvel ezelőtt váltak el a többi emlőscsoporttól. A legidősebb ismert Eutheria fosszília azonban eddig a 125 millió éves *Eomaia* és a 123 millió éves *Acristatherium* volt. Szintén 125 millió éves a legkorábbi ismert Metatheria is (*Sinodelphys*). A 160 millió éves *Juramaia* felfedezése most jóval korábbi fosszilis bizonyítékot ad a kutatók kezébe, és megerősíti a DNS-vizsgálatok eredményeit.

A *Juramaia* mindössze 15-17 grammos volt, és a fogazata alapján főleg rovarokkal táplálkozott.

A korai méhlepényes emlős páfrányfákra mászott fel vadászat közben. A mászáshoz alkalmazkodó mellső végtag komoly előnyt biztosított a többi jura időszi emlőssel szemben.

Mivel a jura időszi emlősök nagy része kizárólag a talajszinten élt, ez a képesség (menekülés a fára a ragadozók elől és a lombkoronaszint felfedezése) lehetővé tette a méhlepényeseknek néhány kiaknázatlan ökológiai fülke elfoglalását. Ez a korai alkalmazkodás lehetett az egyik kulcsmomentuma a későbbi, páratlanul sikeres történetüknek.



(illusztráció forrása: Carl Buell, Maureen A. O'Leary, Jonathan I. Bloch, John J. Flynn, Timothy J. Gaudin, Andres Giallombardo, et. al., The Placental Mammal Ancestor and the Post-K-Pg Radiation of Placentals, Science 08 Feb 2013:, Vol. 339, Issue 6120, DOI: 10.1126/science.1229237, science.sciencemag.org/content/339/6120/662, és scifare.com/science-news/article/mother-to-largest-branch-of-mammals-described-by-researchers/, és tudomany/20110824-mehlepényesek-es-az-erszenyesek-juramaia-jura-anya-uj-merfoldko-az.html)

Illusztráció a feltételezett méhlepényes (Placentalia) emlős (Eutheria) ősről, egy kis rovarévó (Insectivora) állatról. Az Eutheria az emlősök (Mammalia) osztályának egy csoportja, melybe a ma élő méhlepényesek és kihalt rokonaik tartoznak.

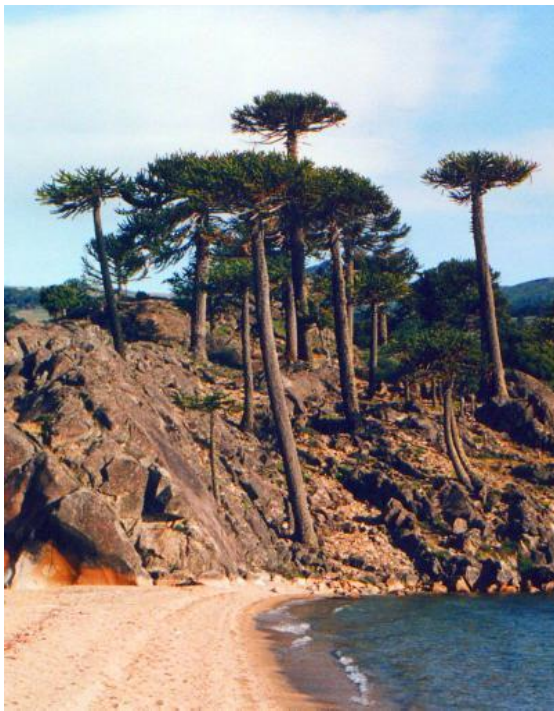
A kréta időszak (145 - 65 millió évvel ezelőtt) a mezozoikum idő harmadik, utolsó része, a fanerozoikum leghosszabb időszaka. A nyitvatermőkől kialakultak az első zárva termő növények. Fejlődési vonaluk hamarosan kettévált a kétszikűekre és az egyszikűekre. A zárvatermők megporzását számos rovarfaj végezte. Kialakultak a fejlettebb madarak képviselői. Az emlősök elterjedését gátolta, hogy a hüllők szinte minden élőhelyet elfoglaltak.



(illusztráció forrása: Amerikai Természettudományi Múzeum új Dino ház, by Karen Carr, http://www.karencarr.com/by_geologic_era.php?gl=1000 és <http://www.karencarr.com/portfolio-images.php/Dinosaurs-and-ancient-life/Cretaceous/Event-Network/Cretaceous-Flora/667>)

Krétakori Archacanthus (magnólia), ginko- és cikádfák, páfrányok és tűlevelűek.

A berriasi korszakot (a kora kréta földtörténeti kor hat korszaka közül az első) ugyanolyan lehűlés jellemezte, mint a jura időszak utolsó korszakát. Létezik bizonyíték arra, hogy a magasabb szélességi körökön a hóesés gyakori lehetett, a trópusok pedig a triászt és a jurát követően egyre nedvesebbé váltak. Az eljegesedés a magasabb szélességi körök hegységeiben az alpesi gleccserekre korlátozódott, míg az évszakonkénti havazás jóval délebbre is előfordult, de nincsenek sarki jégsapkák..



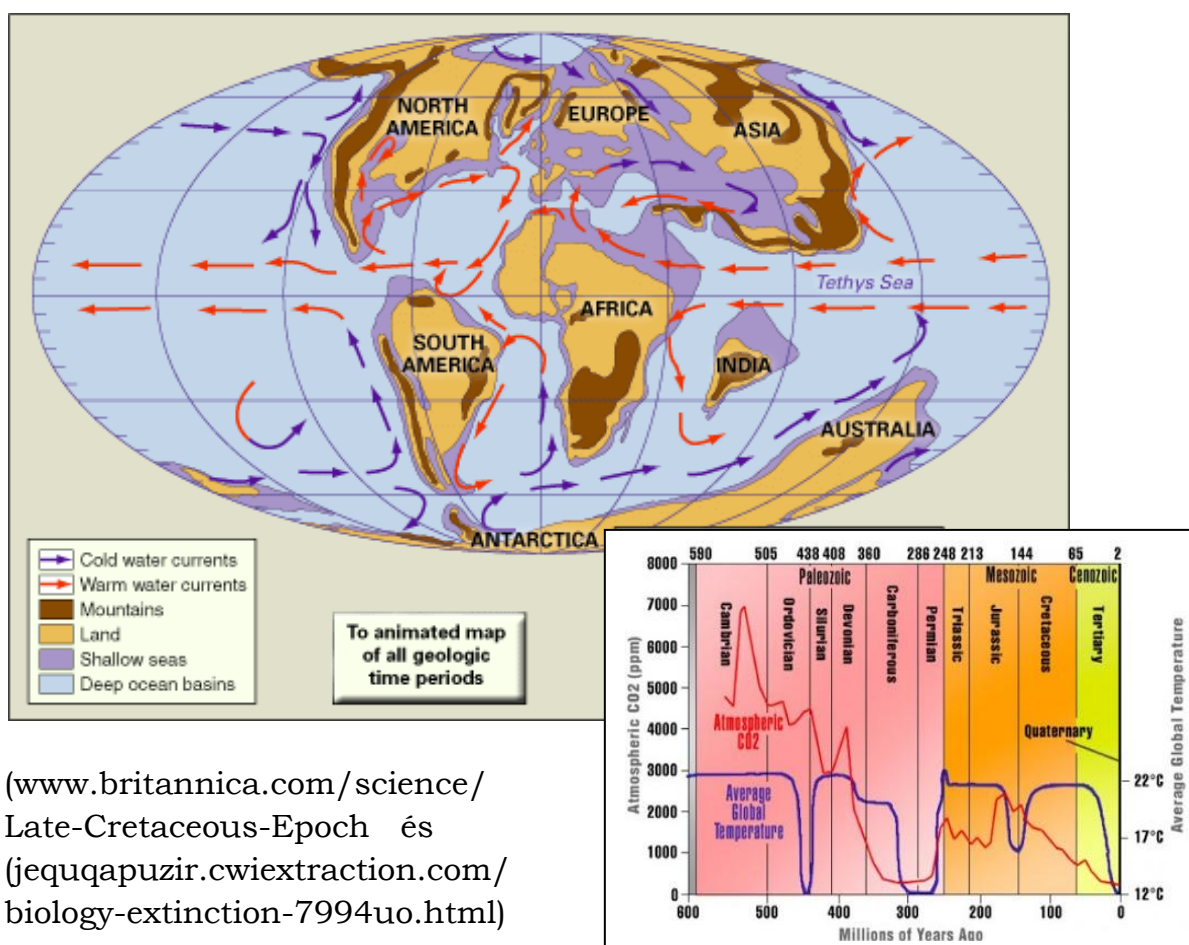
(Illusztráció forrása: [hu.wikipedia.org/wiki/Kréta_\(időszak\)](http://hu.wikipedia.org/wiki/Kréta_(időszak)))



A valangini korszakban (kora kréta földtörténeti kor hat korszaka közül a második) a hőmérséklet ismét emelkedni kezdett, és a körülmények az időszak végéig nagyjából változatlanok maradtak. Ennek oka a nagy mennyiségű széndioxidot termelő erős vulkáni tevékenység volt.

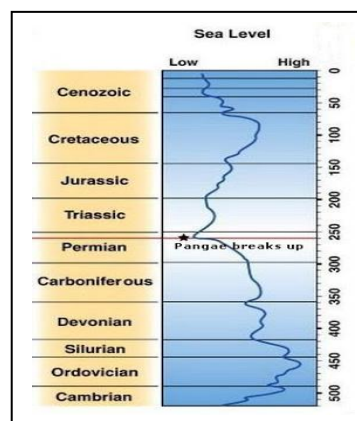
Korai kréta kor kontinensei
~120 millió évvel ezelőtt.
(forrás: dinosaurpictures.org/ancient-earth#120)

A kiszélesedő óceánközepi lemezszegélyeken keresztül felhalmozódó köpenydiapír (a Földkéreg elvékonyodása a köpeny felboltozódásával úgynevezett „köpenydiapír” felnyomulásával járt) tovább növelte a tengerszintet, ezért nagy szárazföldi területek kerültek sekély tenger alá. A trópusi óceánokat keletről és nyugatról összekötő Tethys-óceán szintén segített a globális éghajlati felmelegedésben. A meleghez alkalmazkodott növények fossziliái olyan északi területeken is előkerültek, mint Alaszka és Grönland, míg a dinoszauruszok maradványai a déli sarktól 15 fokra is megtalálhatók.



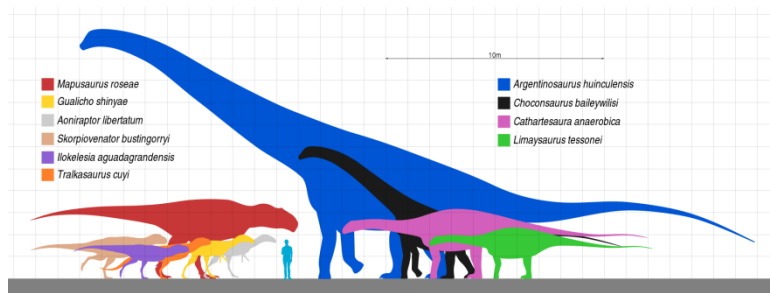
(www.britannica.com/science/Late-Cretaceous-Epoch és jequqapuzir.cwiextraction.com/biology-extinction-7994uo.html)

Az egyenlítőtől a sarkok felé a nagyon enyhe hőmérsékleti gradiens gyenge globális szeleket jelez, melyek kis mértékű feláramlást és a mainál mozdulatlanabb óceánokat eredményeztek. Az üledék belseje azt mutatja, hogy a trópusi tenger felszíni hőmérséklete 42 °C-os, azaz a jelenleginél 17 °C-kal magasabb lehetett, és hogy az átlagos hőmérsékletük 37 °C volt. Emellett a mély óceáni hőmérséklet 15–20 °C-kal haladta meg a mai értéket.





(forrás: www.guinnessworldrecords.com/news/2018/11/what-was-the-biggest-dinosaur-how-scientists-determine-giant-prehistoric-record-546363/)



(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Argentinosaurus)

(forrás: www.the-dinosaurs.com/dino/argentinosaurus.php)

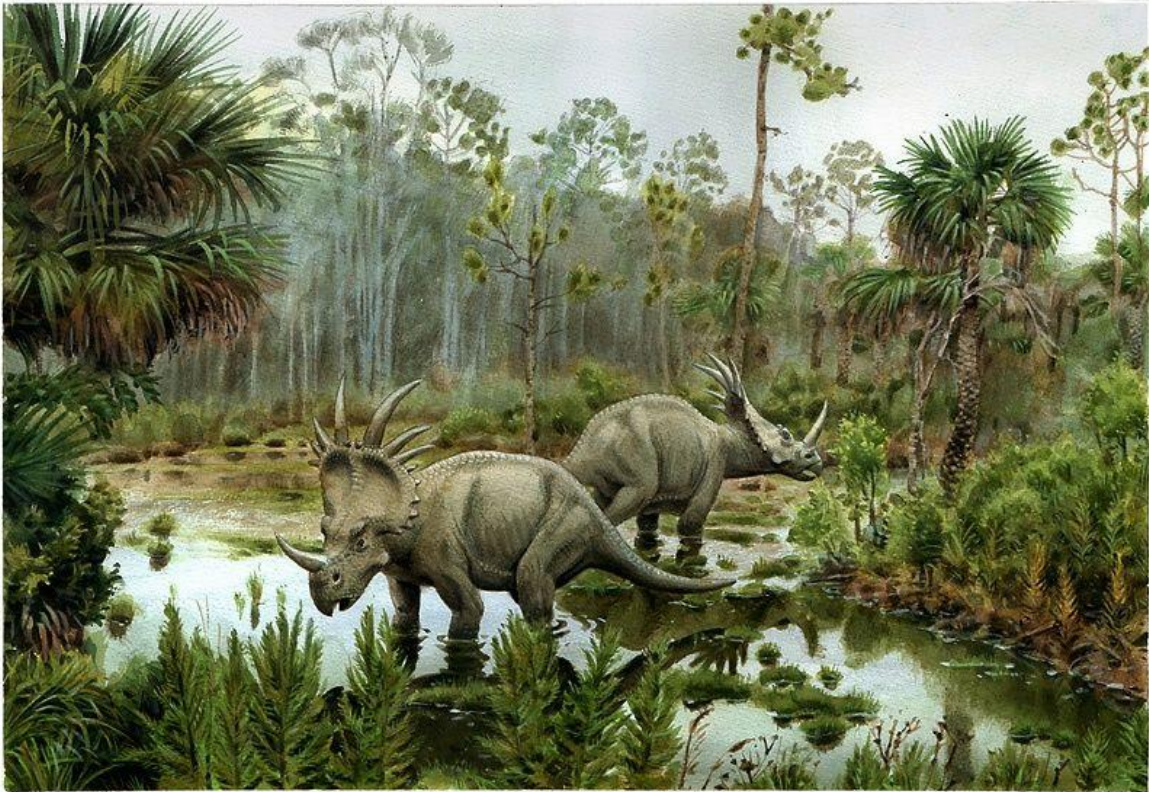


Argentinosaurus, egy titanosaurus szauropoda dinoszaurusz a korai krétakorszakból Argentínában.



(forrás: <https://hu.pinterest.com/pin/212091463681456867/>)

Az Argentinosaurus a titanosaur sauropod dinoszaurusz egyik neme, amelyet Guillermo Heredia fedezett fel először Argentínában. A generikus név arra az országra vonatkozik, amelyben felfedezték.



(forrás: www.johannesbojesen.com/illustration/image/19 és i.pinimg.com/originals/c0/8b/bf/c08bbf777313f69d3666bb90b0f164ce.jpg)

A Styracosaurus a növényevő ceratopsia dinoszauruszok egyik neme.



(forrás: <https://walkingwith.fandom.com/wiki/Parasaurolophus>)
A Parasaurolophus az ornithopoda dinoszauruszok egyik neme.



(Illusztráció: a PalaeoArt "Visões de um Tempo Profundo" (egy távoli idő látomásai) kiállításához készült, amelyet a XXV. Brazil paleontológiai kongresszus (Ribeirão Preto - SP) során rendeztek 2017. júliusában. www.deviantart.com/willfx/art/Tupandactylus-over-the-Crato-Formation-683717375)

Tupandactylus, a tapejarid pterodactyloid pterosaur nemzetsége a brazíliai korai kréta kraton formációból (112 évvel ezelőtti földtani rétegből).



Pachycephalosaurus

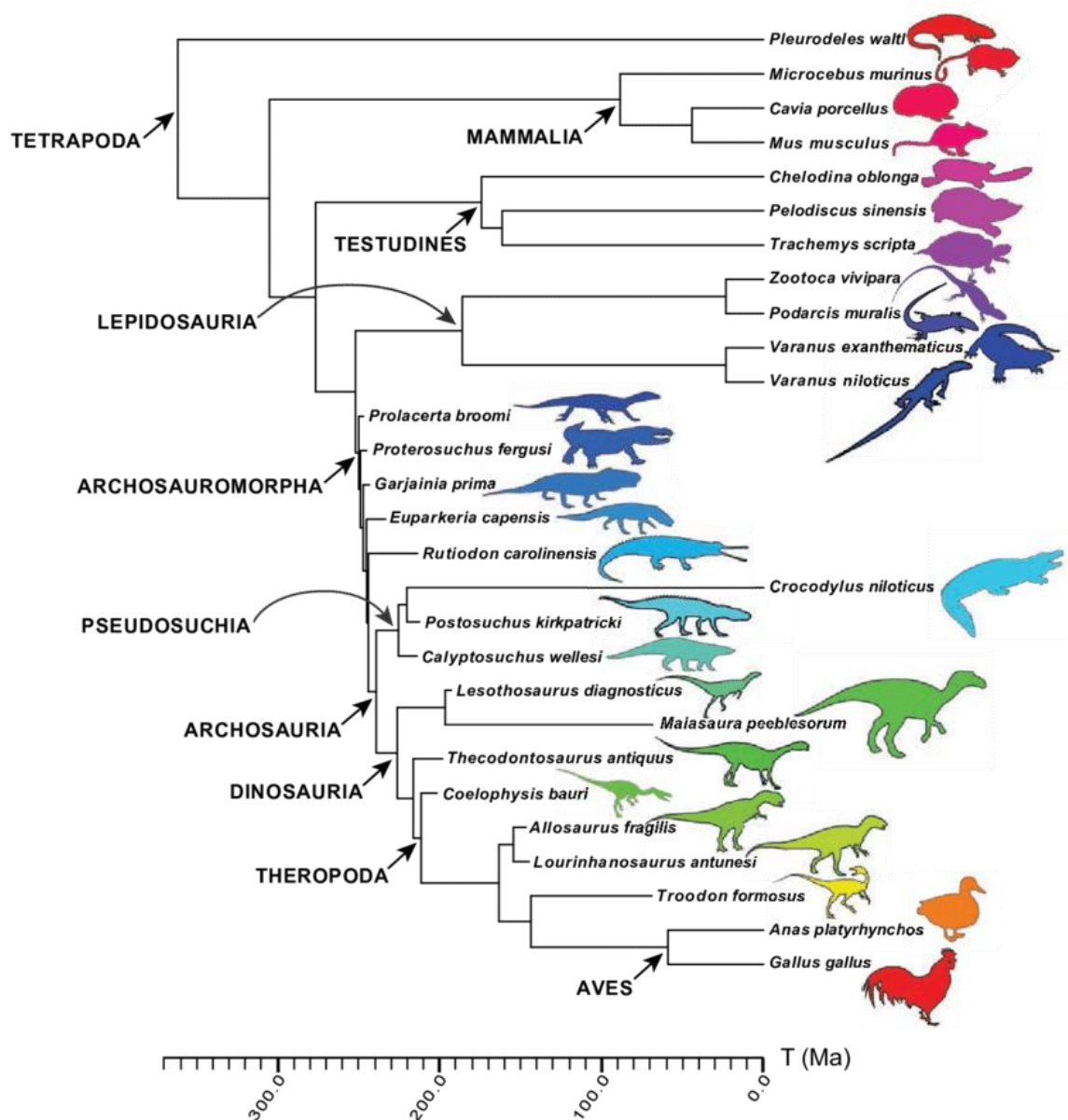


(forrás: www.facebook.com/DinosauriosABC/photos/)

A négy lábú (tetrapodák) állatok, néhány kivételtől eltekintve, (például kígyók) a Tetrapoda szuperosztályt alkotják. Ez magában foglalja a fennmaradt és kihalt kétéltűeket, hüllőket (beleértve a dinoszauruszokat, és így a madarakat) és emlősöket.

A karbonban és permében virágkoraiban élő ősi formák a mezozoikum végén kihaltak. Legismertebb képviselőjük a kétéltűek (Amphibia) osztályába tartozó *Ichthyostega*, amely a csontshalak és a négy lábú közötti evolúciós láncszem.

A gerincesek első igazi szárazföldi osztályát a hüllők (Reptilia) alkotják. Nincs lárvállapotuk és metamorfózisuk, a tojásból kikelt hüllő kicsiny mása a kifejlett példánynak. A tojás kialakulása tette lehetővé a víztől való függetlenedést.



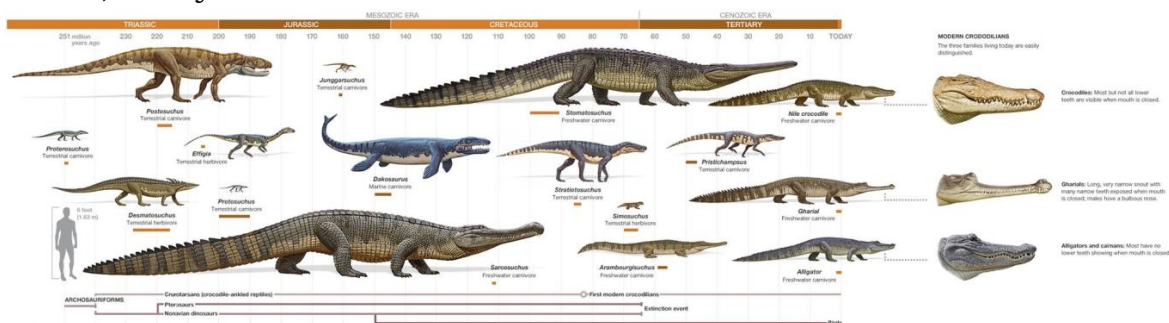
(forrás: www.researchgate.net/figure/Phylogenetic-relationships-between-species-included-in-our-sample-with-branch-lengths_fig9_282734671)

A Diapsida (melyeknek két pár halántéknylása van a koponyájukon: egyik pár a szemgödör fölött, a másik pár a szemgödör mögött) négy lábú állatok 300 millió évvel ezelőtt, a késő karbon kor idején kialakult csoportja, Jelentős részük kihalt. A ma is élő diapsidák a madarak, krokodilok, gyíkok, kígyók, és a tuatarák. Az amniotes (magzatot körülvevő membrán) a hüllőkből, madaraktól és emlősökből álló tetrapod gerincesek kládja. Diapsidák egy csoportja az amniotes tetrapodák (négy lábú és gerinces állatok leszármazottai), amelyeket az amniotával ellátott tojás jellemez.



(forrás: africanexplorermagazine.com/2019/06/18/huge-crocodiles-found-under-the-sahara/)

A *Sarcosuchus imperator* (Crurotarsans) a legteljesebb példány, amelyet eddig találtak, és a legnagyobb az „őskrokodilok” (Crocodile-ankled reptiles) között, amelyek valaha éltek.

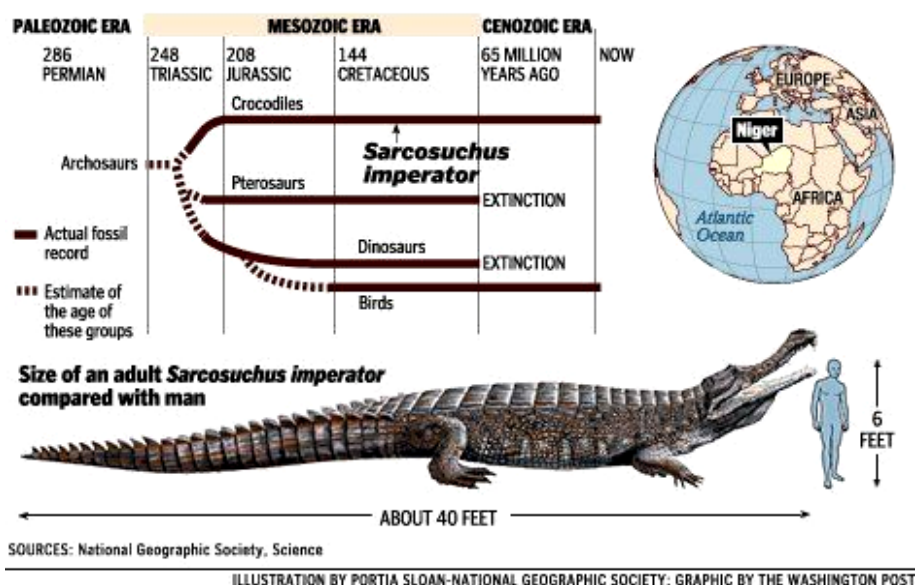


(i.pinimg.com/originals/f6/2d/bf/f62dbfec881293be38b6d0e210cdde2f.jpg)

A paleontológus, Paul Sereno és munkatársai az 1997-es és 2000-es expedíciók során koponyákat, csigolyákat, végtagsontokat és csontos páncéllemezeket talált. A kövületei alapján amelyeket a nigériai Gadoufaoua-ban gyűjtöttek, a Szahara-sivatag távoli helyén, ahol a tuareg nomádok élnek, összeállították a szörnyeteg portréját.

Ancient River Monsters

Archaeologists have discovered fossil skulls and partial skeletons in Niger from a 110-million-year-old crocodile that grew to the size of a school bus and weighed as much as a whale.



(Forrás: hu.pinterest.com /pin/338544096960175156/, és i.pining.com/736x/57/6e/ca/576eca1c653c15e95419e942ad17fe24.jpg, és https://fyeahdinosauria.tumblr.com/post/18573572470/supercroc-fossil-found-in-sahara)

Az óriás teremtmény, amely 110 millió évvel ezelőtt élt a középső krétakorban. O'Brien és munkatársai 2019-ben („Crocodylian Head Width Allometry and Phylogenetic Prediction of Body Size in Extinct Crocodyliforms”, Integrative Organismal Biology. 1, doi:10.1093/iob/obz006) a legnagyobb *Sarcosuchus imperator* példány hosszát 9,5 méterre, a testtömegét pedig 4,3 tonnára becsülte. Egyedüli állkapcsai csaknem 1,8 méter hosszúak voltak, és több mint 100 foga olyan erős, hogy a hatalmas lény valószínűleg kis dinoszauruszokat és halakat is fogyasztott - állítják a kutatók.



(forrás: alexandreaballas.blogspot.com/2013/10/dinosaur-eater.html)

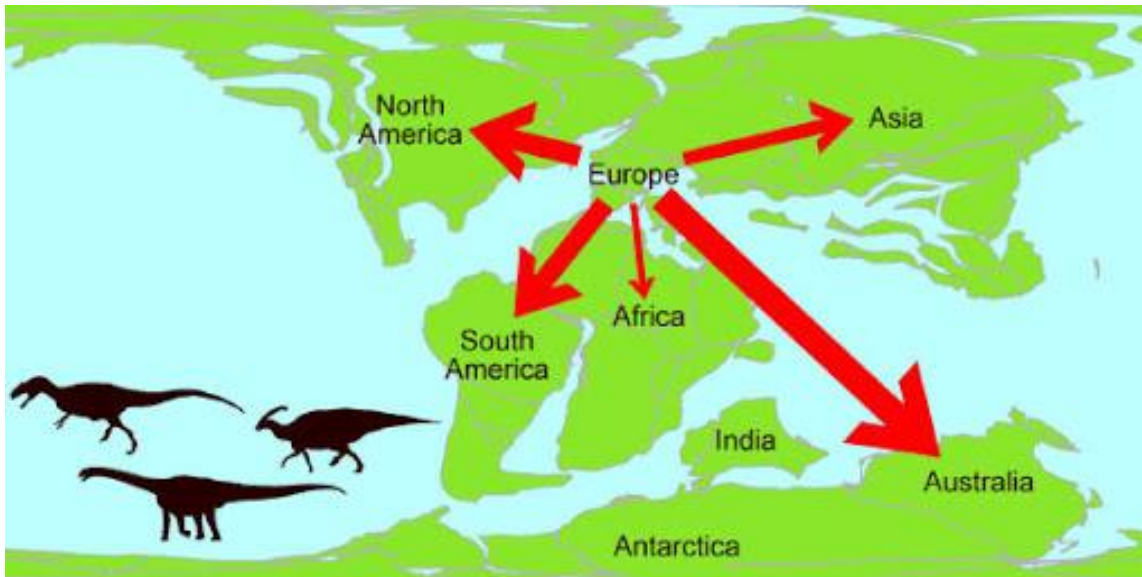


(forrás: fotó: Thomas Spayth / 500px, hu.pinterest.com/pin/341358846760118833/)



(illusztráció: John Gurche, ABC de los Dinosaurios,
www.facebook.com/DinosauriosABC)

Egy Hypacrosaurus anya bogyókkal eteti kölykeit. 75-67 millió évvel ezelőtt éltek a késő kréta időszakban a mai Kanada és Egyesült Államok, Montana valamint Alberta területén.



(Alexander M. Dunhill et al. Dinosaur biogeographical structure and Mesozoic continental fragmentation: a network-based approach. *Journal of Biogeography*, published online April 25, 2016; doi: 10.1111/jbi.12766, és www.sci-news.com/paleontology/dinosaurs-europe-early-cretaceous-03812.html)

A paleontológusok egy csoportja, amelyet a Leeds Egyetem tudósa, Dr. Alexander Dunhill vezet, az úgynevezett „hálózati elméletet” használta a dinoszauruszok világszerte történt mozgásának vizuális ábrázolására a mezozóiban (252-66 millió évvel ezelőtt) - ideértve a kilépést Európából a korai krétakor alatt (146-100 millió évvel ezelőtt).



(forrás: i.pining.com/originals/35/b7/75/35b775ea50715e6e9828a01b3588d7cd.jpg)



(forrás: www.scified.com/topic/48216)

Tarbosaurus bataar, az egyik legnagyobb ázsiai theropod.



(forrás: Frans Lanting,
<https://kids.britannica.com/students/assembly/view/90459>)

Magas örökzöld fák, az úgynevezett podocarps és fapáfrányok. (Whirinaki Forest Park. A szomszédos Urewera Nemzeti Parkkal az új-zélandi Északi-sziget legnagyobb fennmaradt őshonos területe.)

Podocarpus és a Podocarpaceae volt endemikus (egy olyan faj állapota, amely egyetlen meghatározott földrajzi helyen őshonos, például egy szigeten) az ősi szuperkontinens Gondwana növényzete 105 - 45 millió évvel ezelőtti időszakban. A Podocarpus egy jellegzetes fája volt az antarktisi flórának.-



(i.pinimg.com/originals/42/91/47/429147d29d76ef658e8fa20d2c7fbca9.jpg)

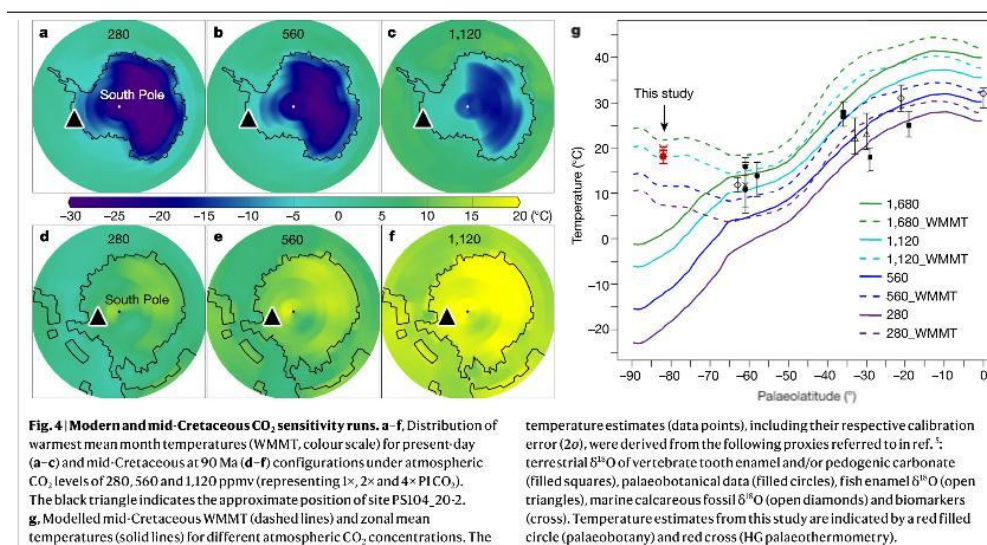
Az Antarktisz befagyott kontinense valamikor mérsékelt égövi esőerdő volt, és dinoszauruszok népesítették be.



(Grafikus: Alfred-Wegener-Institut, James McKay)

Ez az akrilfestmény bemutatja a fúrési terület rekonstruálható paleokörnyezeti viszonyait. A festmény a fűrőmagból nyert sokféle tudományos bizonyíték alapján készült.

A Nature folyóiratban megjelent cikk szerint a „krétaközépkori időszak az elmúlt 140 millió év egyik legmelegebb időszaka volt. „Vizsgálatunk előtt az volt az általános feltételezés, hogy a krétakorban a globális szén-dioxid-koncentráció nagyjából 1000 ppm volt. De modellalapú kísérleteink során 1120–1680 ppm koncentrációra volt szükség ahhoz, hogy elérjük az akkori Antarktisz átlagos hőmérsékletét.”- mondja Gerrit Lohmann társszerző és az AWI klímamodellezője.



(forrás: www.nature.com/articles/s41586-020-2148-5.pdf)

A tengerfelszín hőmérséklete a trópusokon ekkor valószínűleg kb. 35 Celsius fok, és a tengerszint valószínűleg 170 méterrel magasabb volt, mint ma.

Annak érdekében, hogy többet megtudjanak a befagyott kontinensről, a kutatók az üledéket elemezték, amelyet csaknem 100 méter mélységből nyertek.

A csapat a németországi Bremeni Egyetem tengerfenék-fúrógépét használta a Polarstern kutatóhajó fedélzetén. A MARUM-MeBo70 üledékmagokat gyűjtött az Amundsen-tengeren a Pine Island gleccser közelében, a német RB Polarstern jégtörővel 2017-ben.



(www.awi.de/en/about-us/service/press/press-release/a-sensational-discovery-traces-of-rainforests-in-west-antarctica.html)

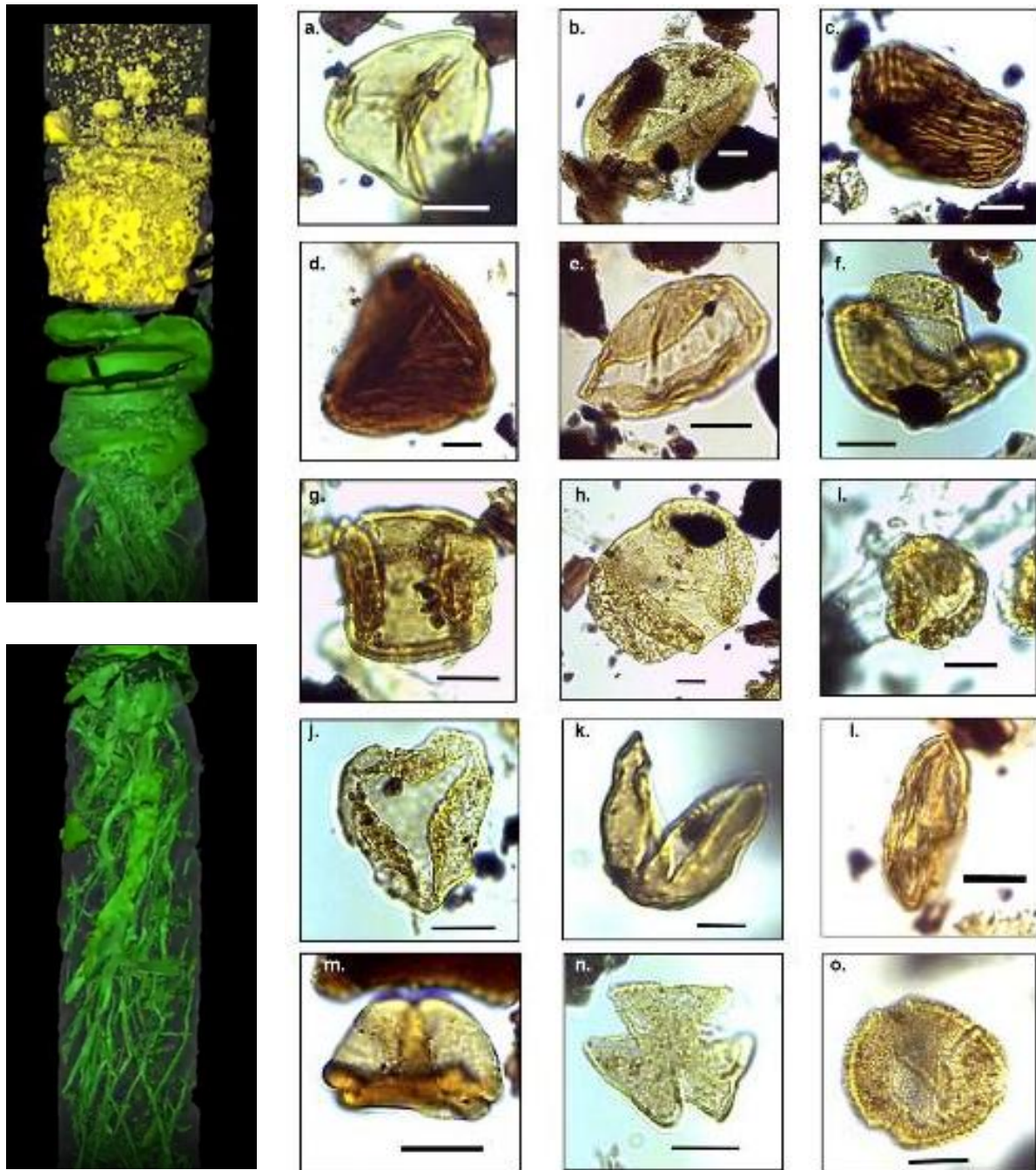
Az felszínre hozott üledékmag a benne rejlő egyedülálló bizonyítékoknak köszönhetően az első lehetőség a kréta kor legmelegebb szakaszában a nyugat-antarktisi éghajlat rekonstrukciójára.

„A kezdeti fedélzeti értékelések során az üledékréteg szokatlan színe gyorsan magára vonta a figyelmünket; egyértelműen eltért a fölötte levő rétegektől. Sőt, az első elemzések rámutattak, hogy az óceánfenék alatt 27–30 méter mélységben egy olyan réteget találtunk, amely eredetileg a szárazföldön, nem az óceánban alakult ki”- mondja Dr. Johann Klages, az Alfred Wegener Intézet (AWI) geológusa.

Még a krétakor alatt is az Antarktisi kontinens a déli pólusnál volt, nagyjából 82 déli földrajzi szélességen, vagyis azt a régiót, ahonnan az erdő talaja származott, négy hónapos sarki éjszakának vettek alá; minden év harmadában egyáltalán nem volt életet adó napfény.

A kutatók meglepődve tapasztalták, hogy mintáik megkövesedett gyökereket, virágpороkat és spórákat tartalmaznak, amelyeket az Antarktisz nyugati iszapkő parkányáról gyűjtöttek.

Az üledékminták röntgen és CT vizsgálata látványos megőrzést mutatott, amely lehetővé tette a kutatók számára, hogy az egyes sejteket és azok szerkezetét megtekintsék.



(forrás: Johann P. Klages, Ulrich Salzmann, et.al. and the Science Team of Expedition PS104, Temperate rainforests near the South Pole during peak Cretaceous warmth, *Nature* volume 580, pages 81–86(2020), DOI: 10.1038/s41586-020-2148-5, www.nature.com/articles/s41586-020-2148-5, és www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-8175955/Traces-ancient-soil-reveal-temperature-South-Pole-54-F-90-million-years-ago.html)



(illusztráció forrása: www.healththoroughfare.com/news/ancient-fossilized-rainforest-uncovered-in-antarctica/22527)

Számos elemzés, egy eredményhez vezetett, hogy a krétakorban az Antarktisz jégmentes és rendkívül meleg volt.

Nagyjából 90 millió évvel ezelőtt mérsékelt éghajlat volt csupán 900 km-re a Déli-sarktól. Az éves átlagos léghőmérséklet kb. 12 Celsius fok; más szóval, még a krétakorban, az átlagos hőmérséklet a Déli-sark közelében nagyjából két fokkal volt melegebb, mint a mai németországi átlaghőmérséklet. A nyári hőmérséklet kb. Átlagosan 19 Celsius fok; a folyók és mocsarak vízhőmérséklete elérte a 20 fokot is; és a Nyugat-Antarktiszon a csapadék mennyisége és intenzitása hasonló volt a mai Waleséhez.

„A számos növénymaradvány azt jelzi, hogy 93–83 millió évvel ezelőtt a Nyugat-Antarktisz partja mocsaras táj volt, ahol mérsékelt éghajlatú esőerdők nőttek - hasonlóan az erdőkhöz, amelyek mondjuk még megtalálhatók Új-Zéland déli szigetén” - magyarázza szerző, Ulrich Salzmann, a Newcastle-i-Tyne-i Northumbria Egyetem paleoekológusa.

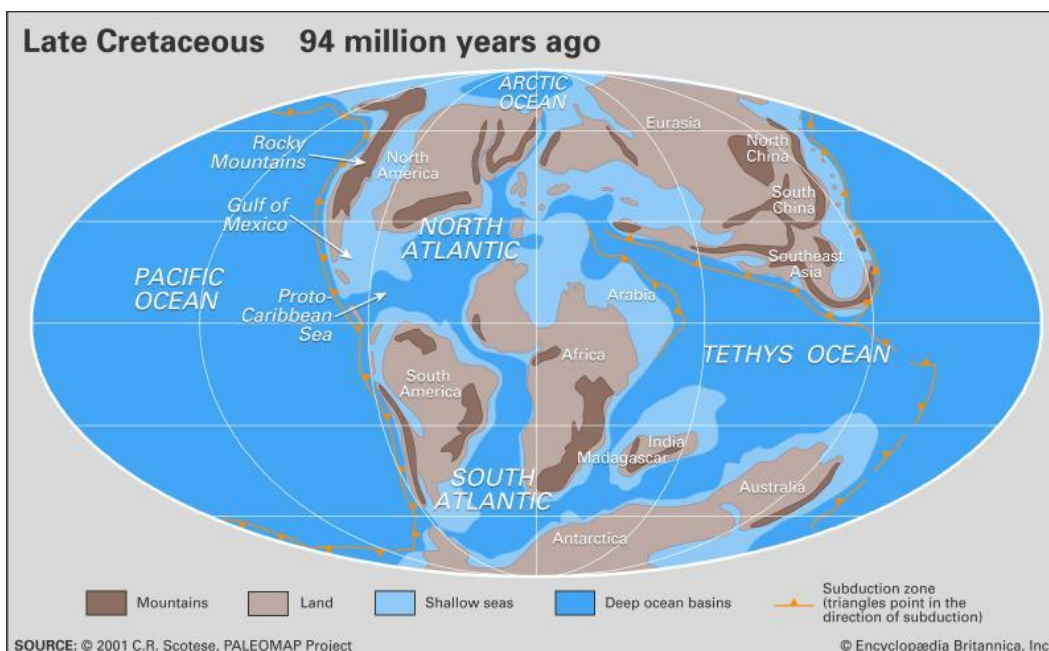
A kréta idejére a késő paleozoikum és a kora mezozoikum során fennállt Pangea szuperkontinens már széttöredezett a mai kontinensekre, bár ezek még máshol helyezkedtek el, mint napjainkban.



(forrás: acordesweb.com/artista/gondwana)

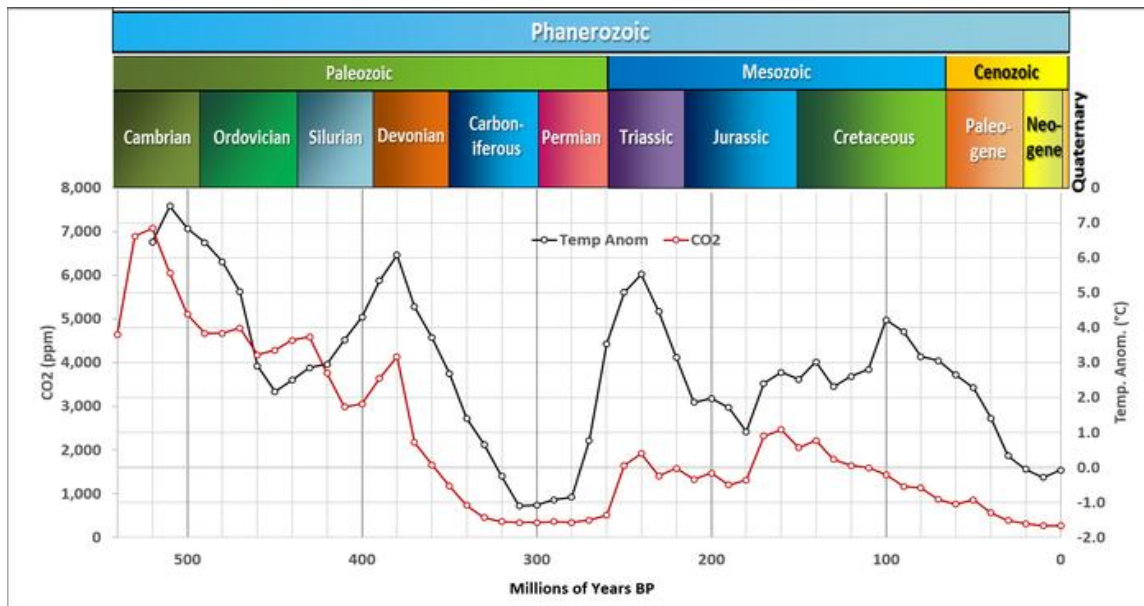
(Animáció: www.facebook.com/watch/?v=1592482090797564)

A kréta elején a Gondwana szuperkontinens még egyben volt, az időszak folyamán azonban ez is széttöredezett. Az Atlanti-óceán medencéje egyre szélesebb lett, majd Afrika, és Dél-Amerika szétsodrásával kinyílt az óceán déli része is. India, és Madagaszkár is levált az őskontinensről. A Tethys-óceán egyre keskenyebb lett, mivel az afrikai lemez egyre közelebb került Euráziához. Ezekben a térségekben megindult az Eurázsiai-hegységrendszer kialakulása is.



(forrás: www.britannica.com/science/Cretaceous-Period)

Ez az aktív tektonikai mozgás a lemezszegélyeknél nagy tengeralatti hegláncokat hozott létre, ami megemelte a világóceán vízszintjét.



(forrás: wattsupwiththat.com/2018/10/30/back-to-the-cretaceous-because-climate-change/) Berner és mtsai, 2001 és Royer és mtsai, 2004.

Hőmérsékletek és szén-dioxid diagram a földtörténeti időszakokban.

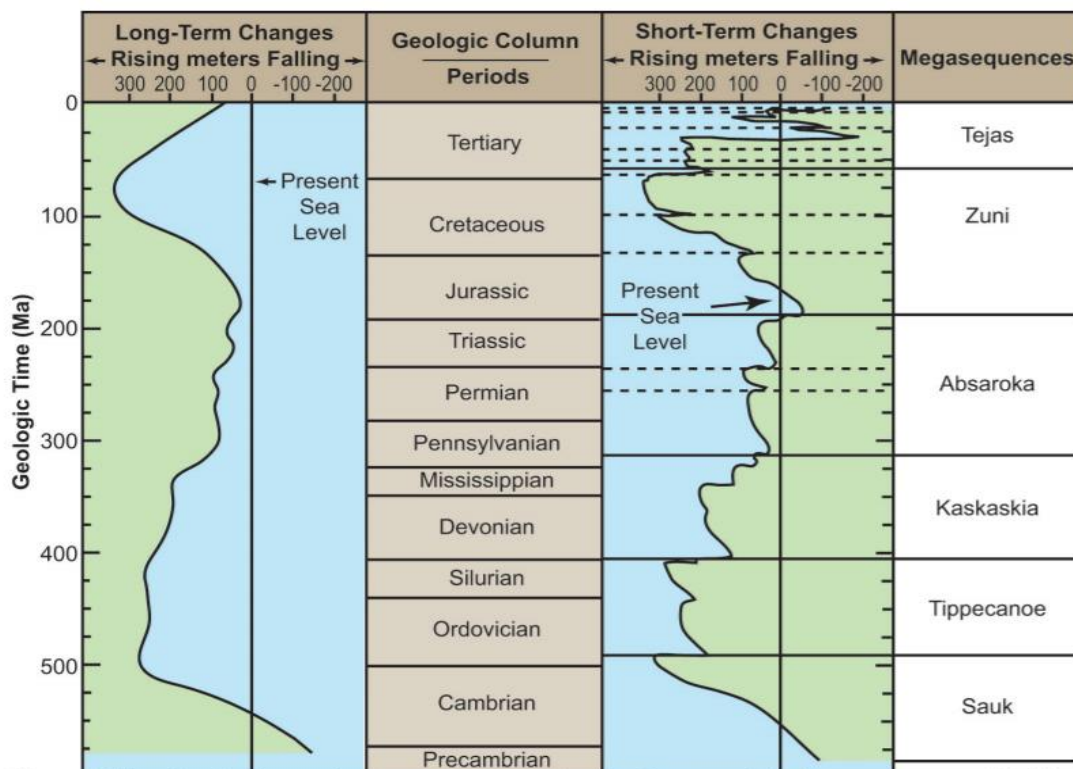


Figure 1. Chart showing the secular timescale, presumed sea level curve, and the six megasequences (Modified from Snelling 2014a). The horizontal dashed lines are merely references to minor sea level fluctuations in between the megasequence boundaries.

(forrás: digitalcommons.cedarville.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1036&context=icc_proceedings)

A tengerszint változása a földtörténeti időszakokban.

Afrikától északra a Tethys-óceán szűkülni kezdett, de ugyanakkor nagy, sekély tengerek jelentek meg a mai észak-amerikai és európai szárazföld belterületén, melyek az időszak végén visszahúzódtak. A kréta időszaki transzgresszió (tengerszintemelkedés) csúcán a jelenlegi szárazföldi területek egyharmada víz alatt volt.



(i.pining.com/originals/71/78/09/717809ac8fb2ff8196f344a0fdefaa9c.jpg)

Ancyloceratina,

(forrás: www.reddit.com/r/interestingasfuck/comments/8bzzo2/helioceras_heteromorph_ammonite/)

Helioceras heteromorph ammonite, Ancyloceratina

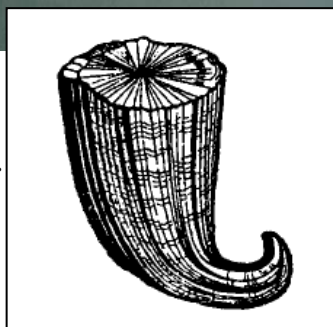


A kréta időszakban az éghajlat aránylag meleg, a tengerszint pedig magas volt. Az óceánokat és a tengereket mára kihalt tengeri hüllők, ammoniteszek és rudisták népesítették be (ekkor virágzott fel az Ancyloceratina ammoniteszrend), míg a szárazföldet a dinoszauruszok uralták. Ebben az időben jelentek meg az emlősök és a madarak új csoportjai.

(A Nautiloid illusztrációt készítette: Dirk Wachsmuth, www.zmescience.com/other/feature-post/geopictures-week-stunning-graphical-representations-2-paleozoic-creatures-nautiloid-helicoprion/)



Kréta kagylók
a Bakony hegységből.
Balra: Inoceramus,
jobbra: Vaccinites.
Vastaghéjú kagyló,
rudista (Vaccinites).



Kréta ammoniteszek. Fent:
Crioceratites; Stoliczkaia;
Anisoceras; Lechites. Lent:
Tetragonites; Hysterocheras;
Scaphites; Kilianella



(forrás: www.arcanum.hu/hu/online-kiadvanyok/pannon-pannon-enciklopedia-1/magyarország-foldje-1D58/osmaradvanyok-2503/kozepso-es-keso-mezozoikum-osmaradvanyok-szente-istvan-2543/kreta-idoszaki-osmaradvanyok-2556/ és mek.oszk.hu/00500/00577/html/nyughat3.htm)

A kréta tengerfenék talán legjellegzetesebb élőlényei a rudista kagylók olykor hatalmasra nőttek. Cső, vagy tülök alakú vázuk két, rendszerint különböző teknőből állt. Sikerük titka az volt, hogy törzsfejlődésük során az alsó teknő elcsavarodott, kúp alakot öltött, s ez lehetővé tette, hogy az állat folyamatosan növekedjen felfelé.



(forrás: www.deviantart.com/namu-the-orca/art/Barry-s-ammonites-581421836)



(forrás: www.langolodellageologia.com/2013/03/rudiste-ippuriti.html)

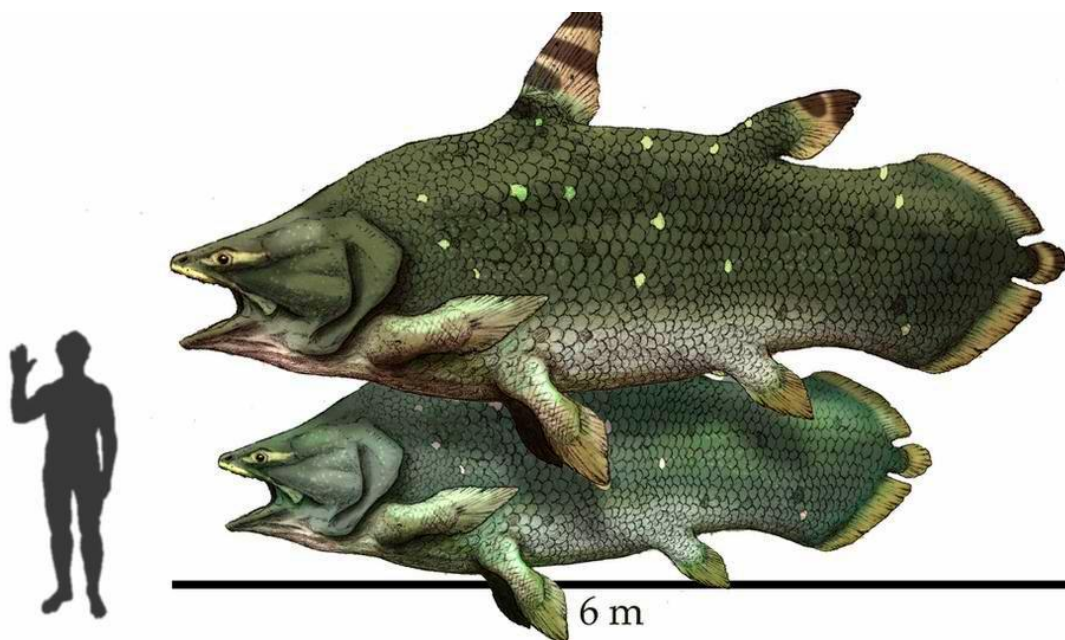
A Rudisták, más néven Hippuritoidok (Hippuritoida Newell, 1965) a vastag héjú, egyenlőtlen, szinte mindig bentoszikus (bentos a vízfenék üledékének élővilága) puhatestűek kihalt rendje (Hippuritoida). A jura felső részén jelennek meg, tetőpontja a krétakorban volt, és ezen időszak végén kihalnak a Tethys-óceánban.

A karbonát platform környezet sajátos formái, amelyekben belül valódi organogén (elsődleges biogén elemek, nevezetesen a szén, hidrogén, oxigén és nitrogén, a sejtek anyagainak mintegy 99%-át mindössze négy elem építi fel, amelyek a szerves alapvegyületek építőelemei) zátony testeket alkotnak.



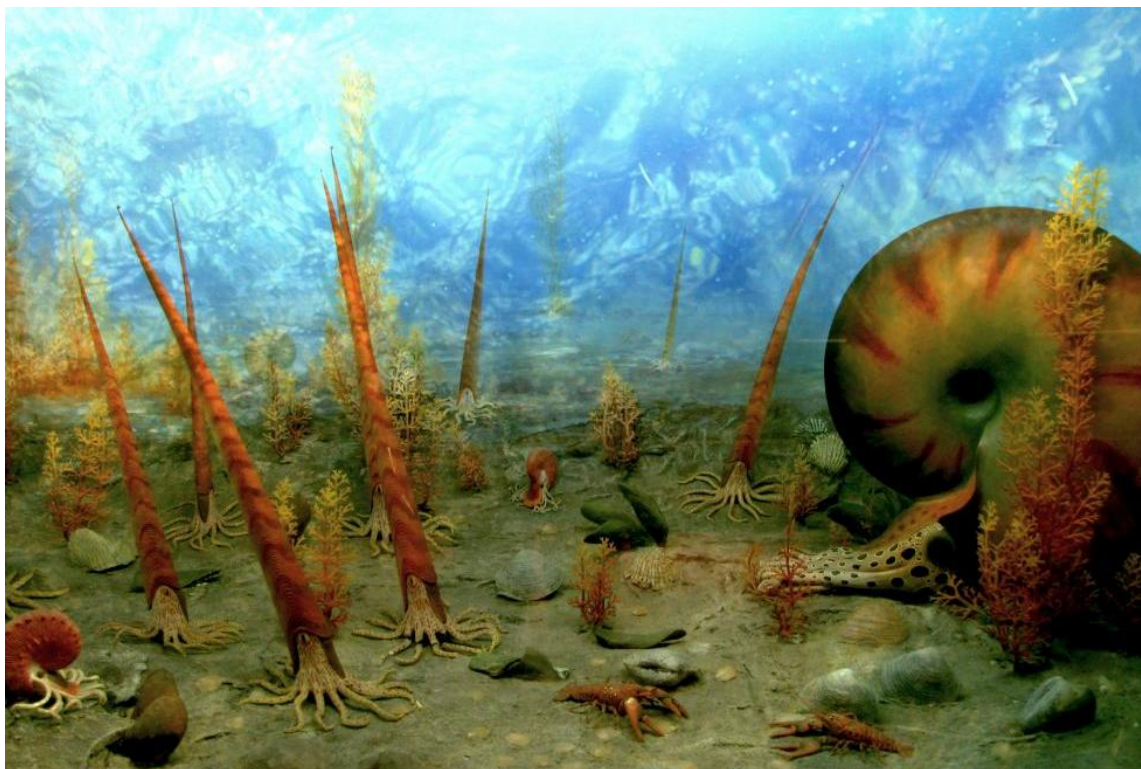
(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Rudists)

Rögzítettségük és a zátonyos környezetekhez való rendkívüli alkalmazkodásuk miatt a Rudisták nem hasonlítanak semmilyen más kéthéjashoz. A héj nagyon vastag, csavart, lekerekített és nem túl díszes.

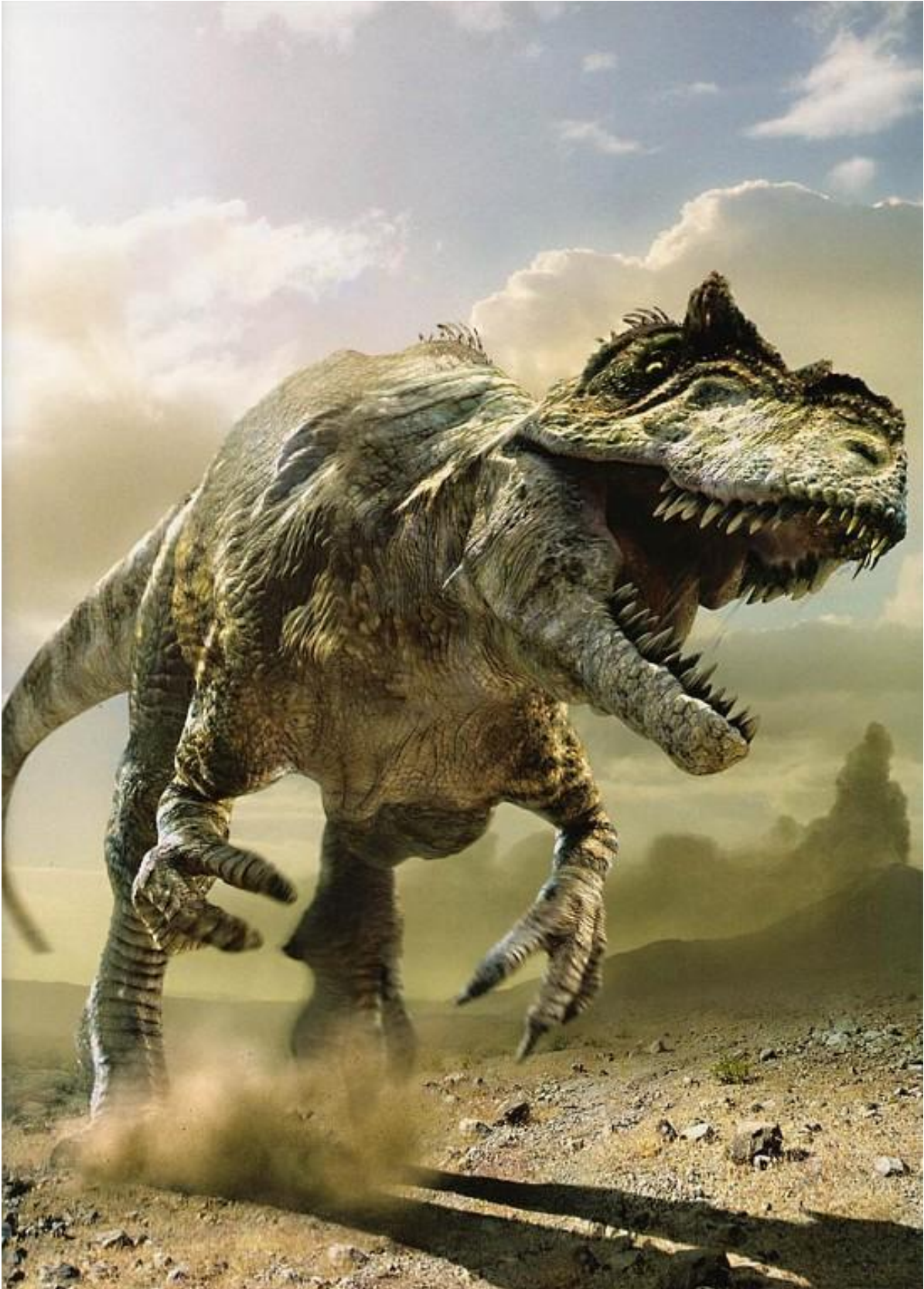


(Artwork by Hyrotrioskjan, Devian art,
www.deviantart.com/hyrotrioskjan/art/New-Mawsonia-346901733 és
i.pinimg.com/originals/42/f3/fb/42f3fbc420a5229659b461ca1287d218.jpg)

A legnagyobb ismert egyiptomi Mawsonia példány (háttér) a korai krétakorból (Nyugat Gonwana), és az új lelet brazilból.

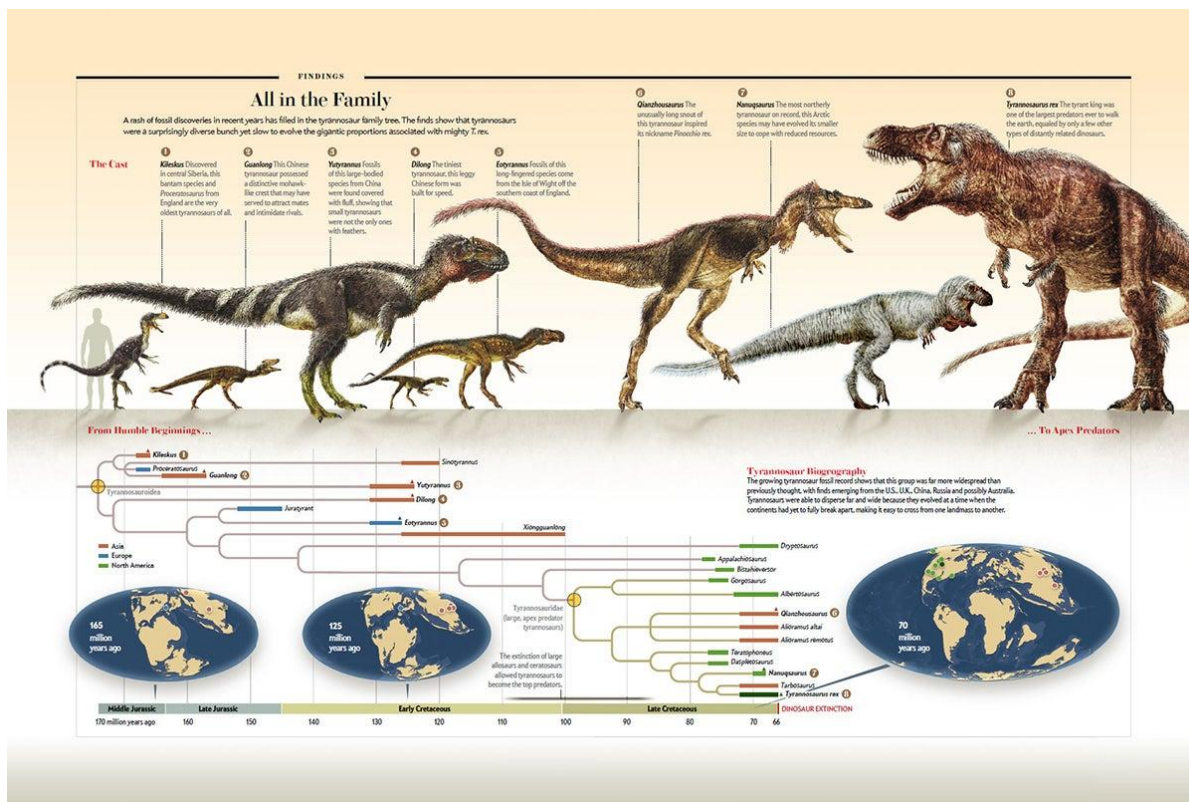


(forrás: cybeleshine.blog/2014/11/04/the-time-travelers-rucksack/the-cretaceous-sea/)



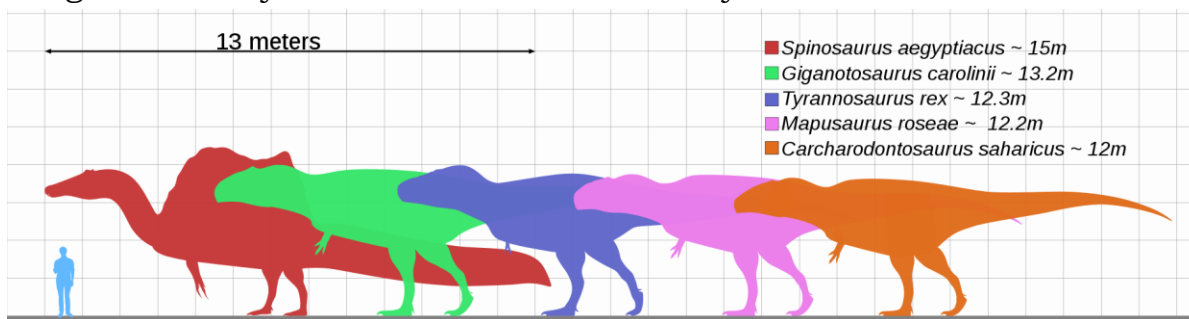
(forrás: <https://ok.ru/group/52957142778093/topic/62259356303597>)

Tyrranosaurus rex



(Illustration: Todd Marshall, Infographics; Source: Plate Tectonic and Paleogeographic Maps by C. R. Scotese, Paleomap Project, 2009, Tyrannosaurus kiállítás infografikája. Rex - The Ultimate Predator, bemutató az Amerikai Természettudományi Múzeumban, New Yorkban. www.scientificamerican.com/article/all-in-the-family-tyrannosaurs/)

A tyrannosauruszok egy csoportja a szorosan összefüggő dinoszauruszokból, amelyek együtt alkotják a szupercsaládos Tyrannosauroideát. A Tyrannosaurus a kis Proceratosaurustól és a Kileskustól egészen a Zuchengtyrannus és a Tyrannosaurus rexig terjed. A legismertebb tyrannosaurusok közül néhány látható az ábrán.



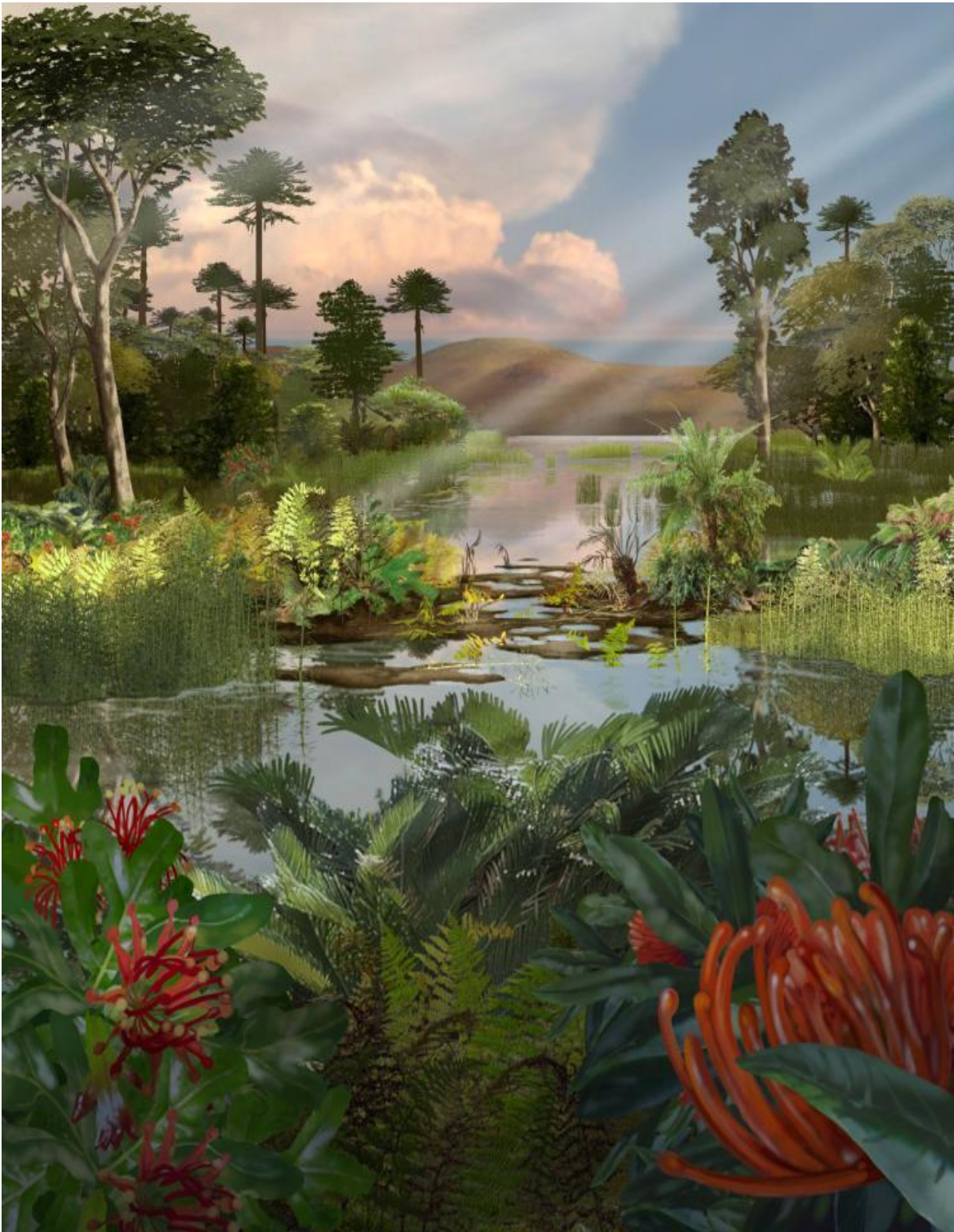
(Illustration: KoprX, commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=79137616)

Néhány óriás theropoda, köztük a kék színnel jelzett Tyrannosaurus és az ember méretének összehasonlítása-



(forrás: truthbynature, Surrealism in Animal Photo Manipulation, Surreal and Fantasy Art, az illusztráció módosítva, www.designstack.co/2019/08/surrealism-in-animal-photo-manipulation.html, és <https://hu.pinterest.com/pin/575616396125673992/>)

Tyrranosaurus rex



(forrás: Australian Museum Late Cretaceous plant community, készítette: Karen Carr, www.karencarr.com/portfolio-images/Dinosaurs-and-ancient-life/Cretaceous/Australian-Museum/Australian-Museum-Late-Cretaceous-plant-community/411 és www.karencarr.com/gallery.php?gl=1)

Késő krétakori növényzet



(forrás: www.pinterest.ca/pin/541557923915071515/)



(i.pining.com/originals/f2/aa/c7/f2aac79519037b3626884fa0b8326be8.jpg)

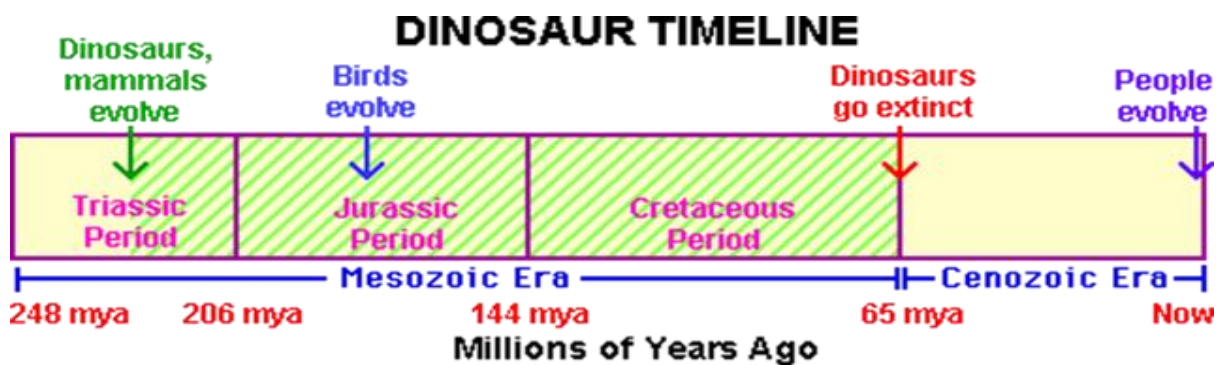


(forrás: intercontact.wordpress.com/2017/04/10/idoutazas-a-230-millio-eves-galaktikus-rulett/)



(forrás: intercontact.wordpress.com/2017/04/10/idoutazas-a-230-millio-eves-galaktikus-rulett/)

A Pteranodon az egyik legismertebb őshüllő fajta, repülő hüllő nem, amely a késő kréta korconiaci, santoni és campaniai korszakaiban élt (89-70 millió évvel ezelőtt)



(forrás: intercontact.wordpress.com/2017/04/10/idoutazas-a-230-millio-eves-galaktikus-rulett/)

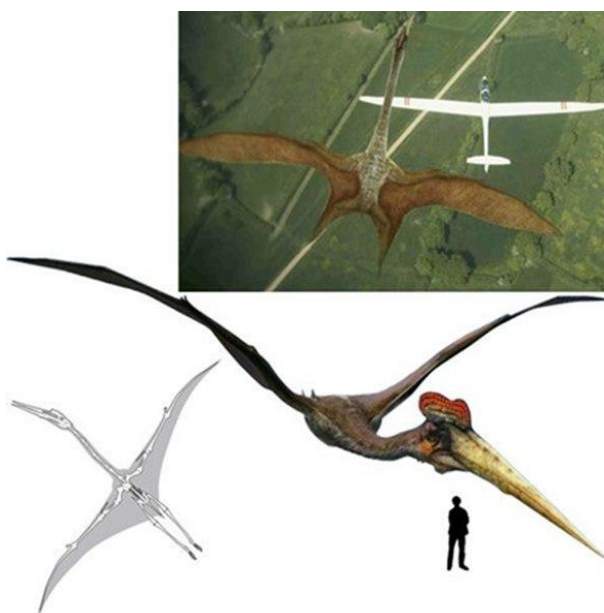


(illusztráció: Saúl Velasco,

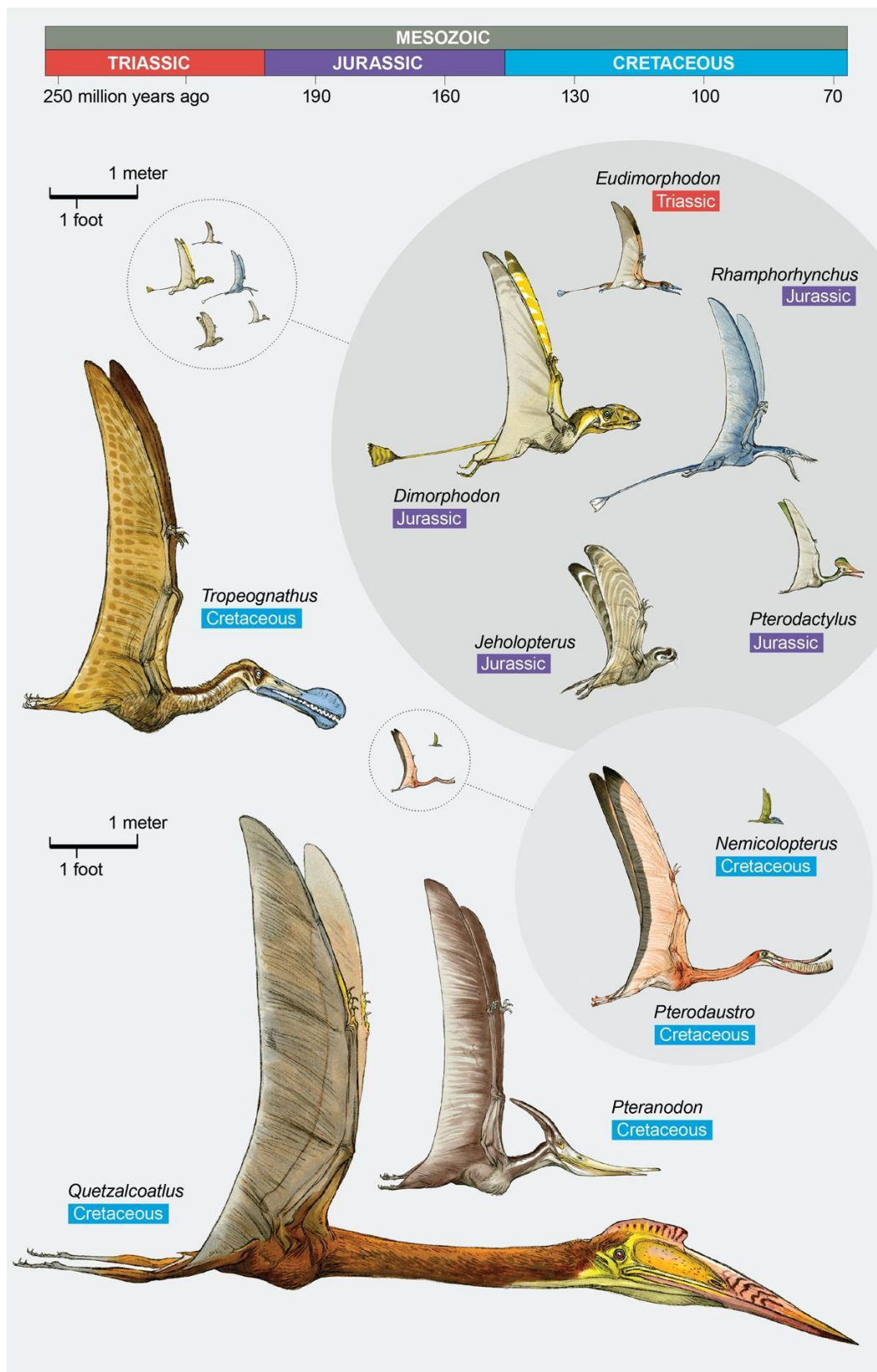


(illusztráció forrása: Saúl Velasco,
www.facebook.com/groups/oslenytan/permalink/566702000639699
 és hu.pinterest.com/pin/640496378241770791/

Kansasi lelőhelyről 85 millió éves pteroszaurusz *Nyctosaurus* nem egyik példánya

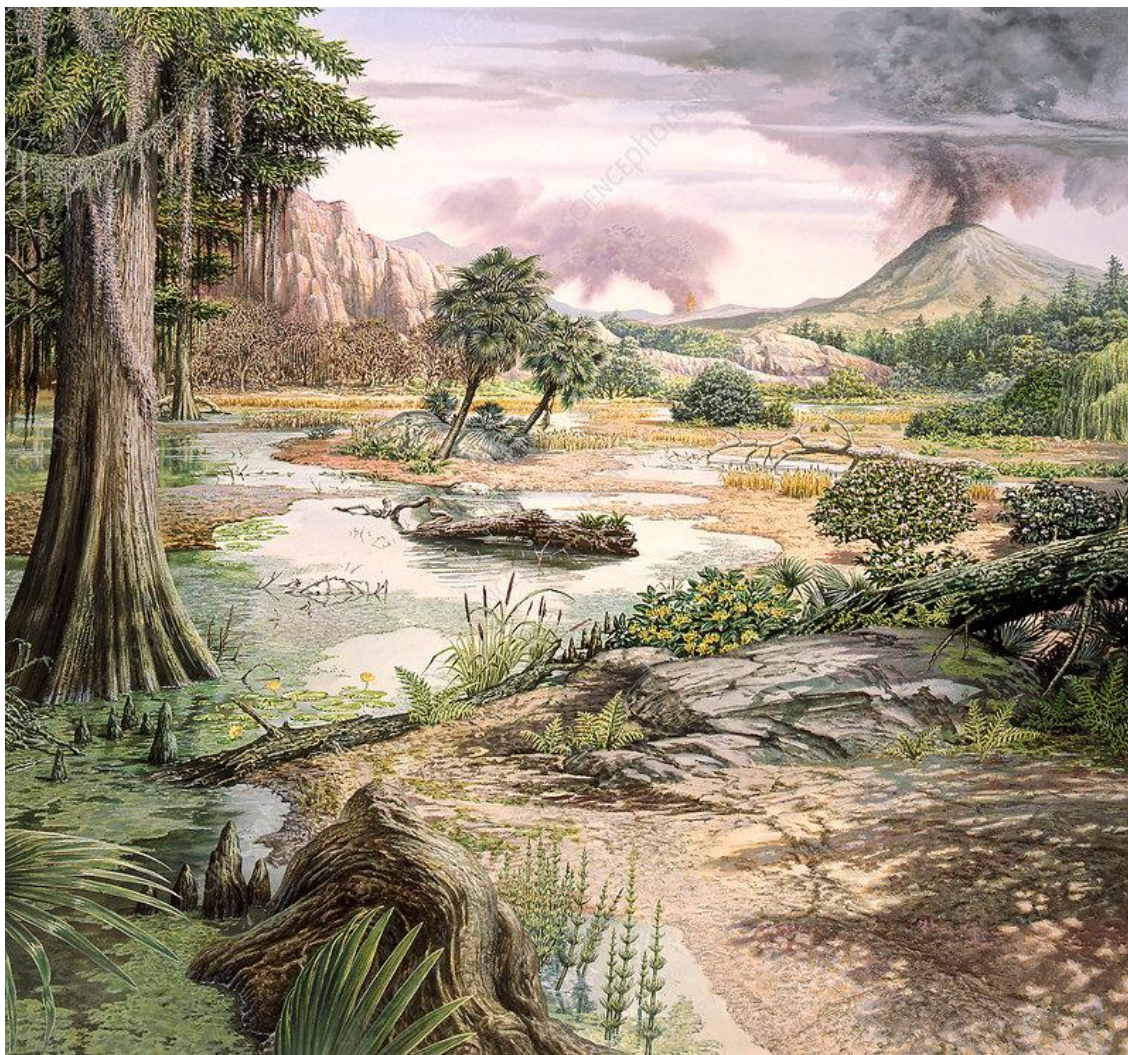


(forrás: intercontact.wordpress.com/2017/04/10/idoutazas-a-230-millio-eves-galaktikus-rulett/)



(Credit: Terryl Whitlatch; Source: Flying Monsters, Design Studio Press, www.scientificamerican.com/article/pterosaurs-were-monsters-of-the-mesozoic-skies/)

A pteroszauruszok (Pterosauria) „szárnyas gyíkok” a repülő őshüllők rendje volt, amelyek a késő triász kortól a kréta időszak végéig éltek.

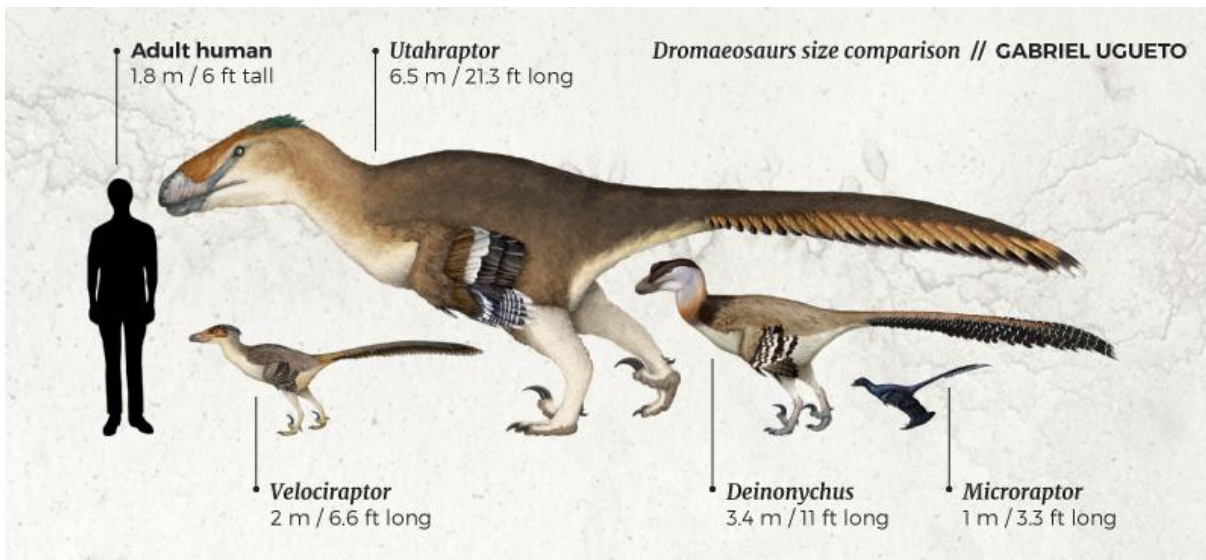


(forrás: www.sciencephoto.com/media/843163/view/cretaceous-landscape-illustration)

(forrás: australian.museum/learn/dinosaurs/fact-sheets/velociraptor-mongoliensis/)

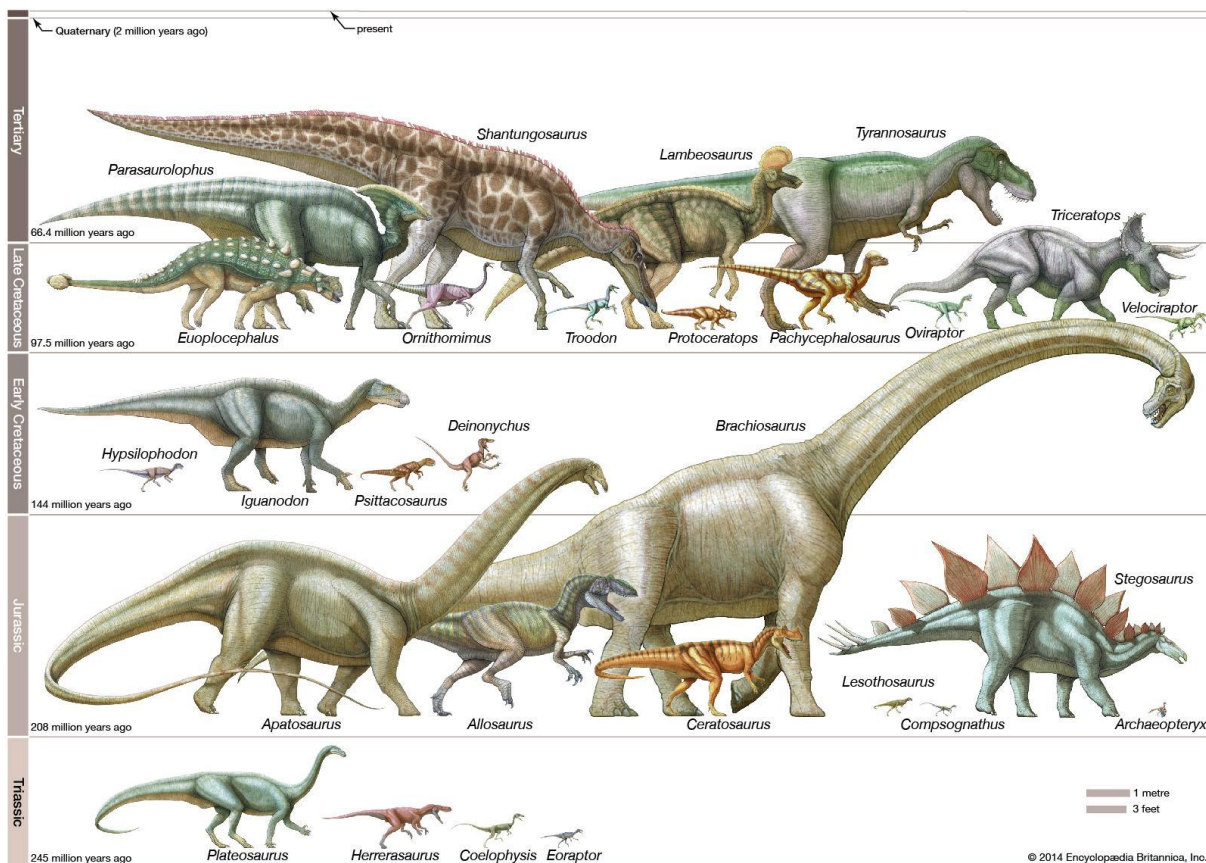
A *Velociraptor mongoliensis* egy kis hűsevő dinoszaurusz volt, Kínában és Mongóliában élt 80 millió évvel ezelőtt.

Velociraptor mongoliensis.



(forrás: www.eartharchives.org/articles/locked-in-rock-liberating-america-s-giant-raptors/?fbclid=IwAR32fqwJtyHhiqUtR7Q1o4cHLMsW00c-jabDS1a5QSmh6BAty6GJpQ4zLWM)

A Velociraptor, sarlós karmú ragadozó nem nagyobb, mint egy pulyka, és valószínűleg ugyanolyan bolyhos. Az amerikai unokatestvére, Utahraptor merete azonban egy felnőtt medvéhez hasonló. Ez a 6,5 méter hosszú vadász a Dromaeosaur család legnagyobb ismert tagja, közismert nevén raptor.



(forrás: www.britannica.com/science/Mesozoic-Era)

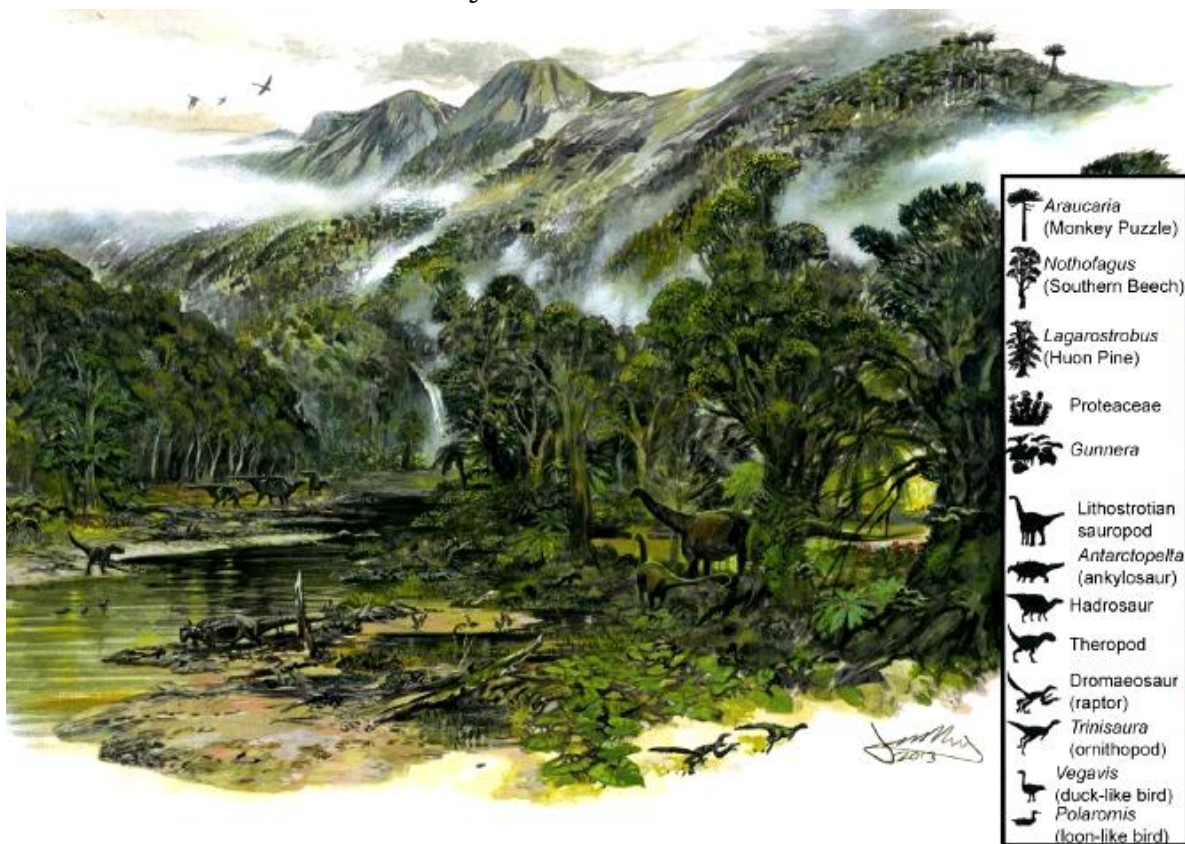


(forrás: jamesthetropicalrainforest.weebly.com)



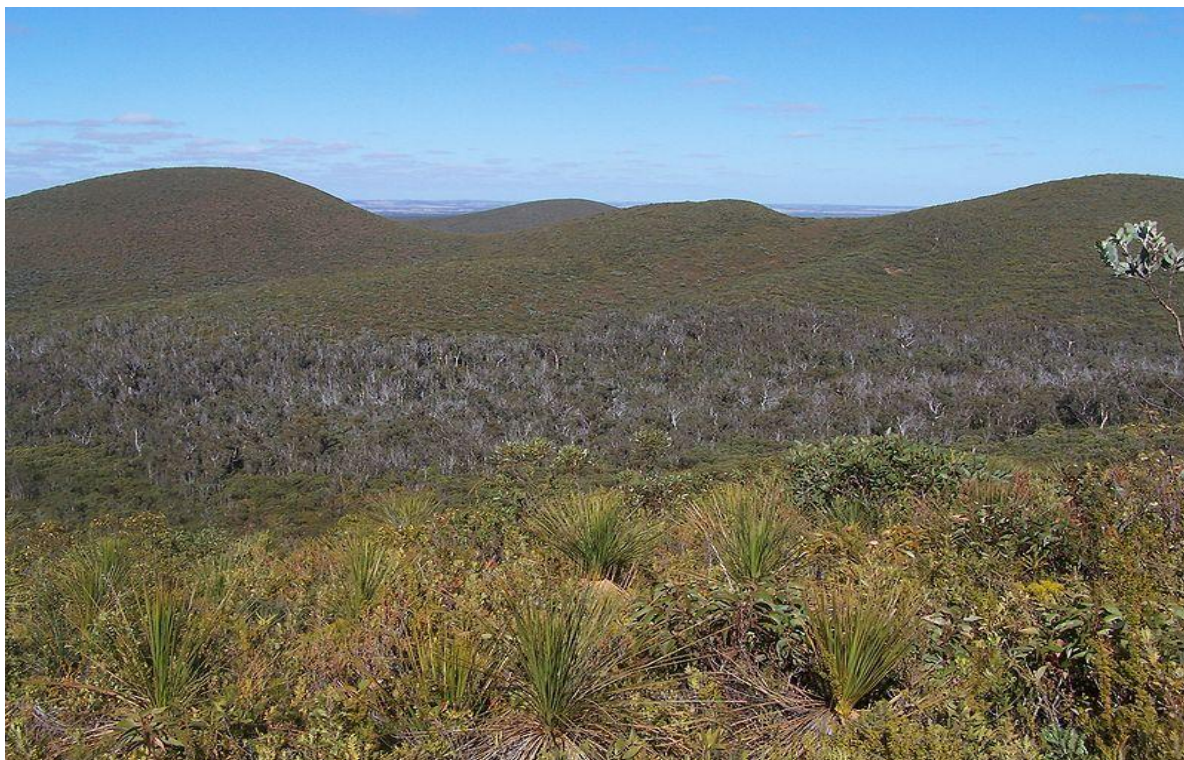
(forrás: hu.pinterest.com/pin/510103095275846582/)

Az Antarktisz-félsziget keleti oldalán a Seymour-sziget területén gyűjtött szárazföldi palynoflóra (spórák és pollenek) minták vizsgálata alapján meghatározhatók a maastrichti kor (72 – 66 millió évvel ezelőtti, kréta időszak) növényzet összetétele és az élőhely típusok. A mérsékelt éghajlatú esőerdők a síkvidéken közepes magasságig nőttek, amely főként *Nothofagus*, *Podocarp*, és *Proteaceae* lombkoronából állt, kiegészülve *Lagarastrobus* (Tasmanian Huon Pine) lombkoronával, amely a folyószegélyek mentén foglalta el a nedves élőhelyeket. Az édesvízi medencékben vízi páfrányok és zöld algák voltak, különféle mohákkal és páfrányokkal. A montán (hegyvidéki) araucarian erdők fásorán (egy felhő erdő, amely a nedvességet a felhőkből és a ködből nyeri) túl a nagyobb magasságokban a nyílt területen, heath-szerű növényzet nőhetett. Minden fauna ismert a James Ross-medence kréta kori fosszilis nyilvántartásából.



(forrás: https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0031018214002156-gr7_lrg.jpg, Artist: James McKay, University of Leeds, Vanessa C. Bowman, Jane E. Francis, Rosemary A. Askin, James B. Riding, Graeme T. Swindles, Latest Cretaceous–earliest Paleogene vegetation and climate change at the high southern latitudes: palynological evidence from Seymour Island, Antarctic Peninsula, Volume 408, 15 August 2014, Pages 26-47, <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.04.018>, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018214002156)

Illusztráció az Antarktisz-félsziget keleti oldaláról a maastrichti korban.



(illusztráció: Heath táj (cserjék élőhelye) a Stirling Range, Nyugat-Ausztrália.
en.wikipedia.org/wiki/Heath#/media/File:Die_back_valley_gnangarra.jpg)



(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Podocarpus)

A *Podocarpus neriifolius* a tűlevelűek nemzetségébe tartozik, örökzöld cserjék vagy fák, általában 1-25 méter magasak, időnként elérik a 40 métert.

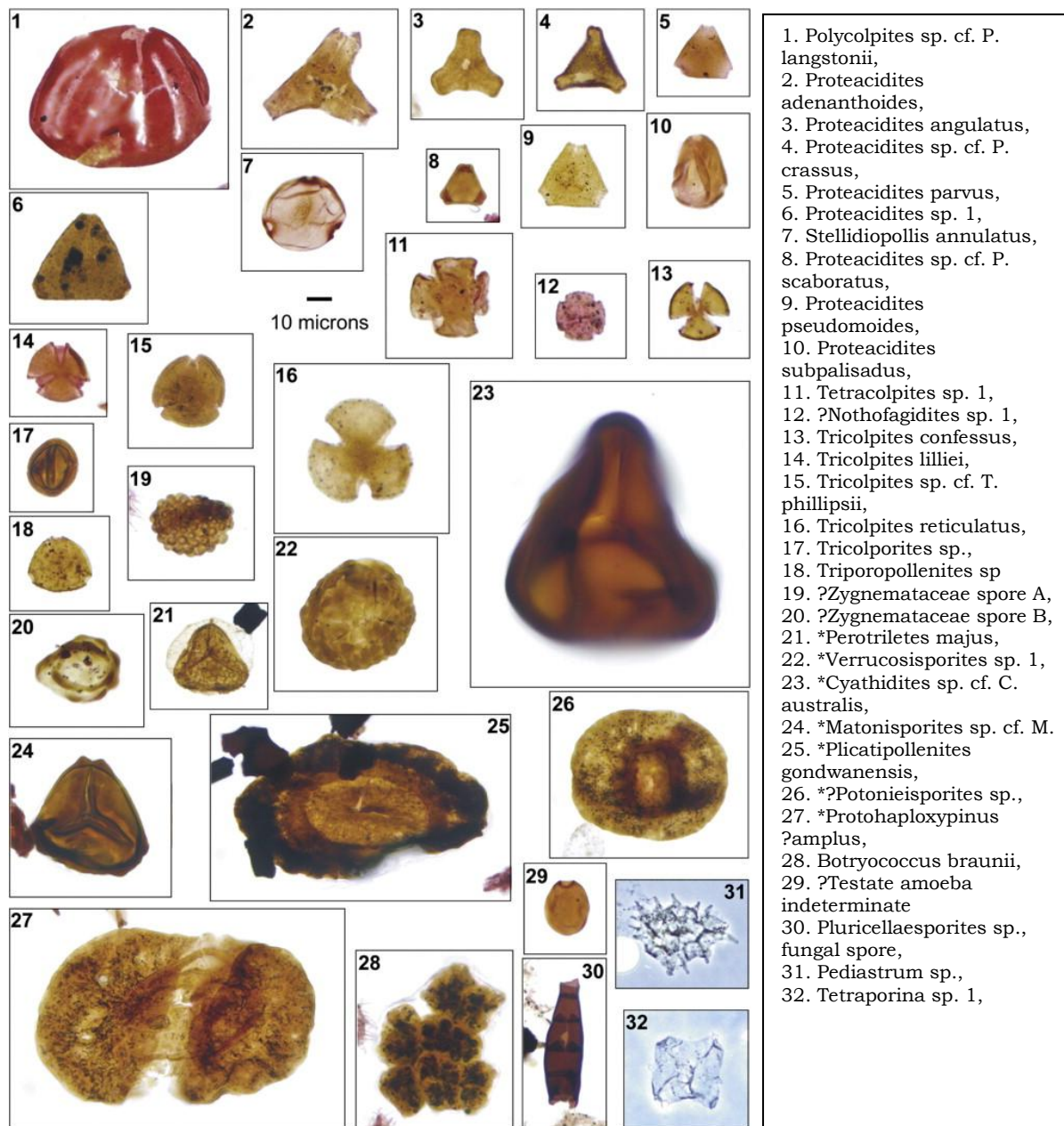
(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Nothofagus)

Nothofagus macrocarpa, más néven déli bükkfák, mérsékelt égövi erdőben ökológiai dominánsak.

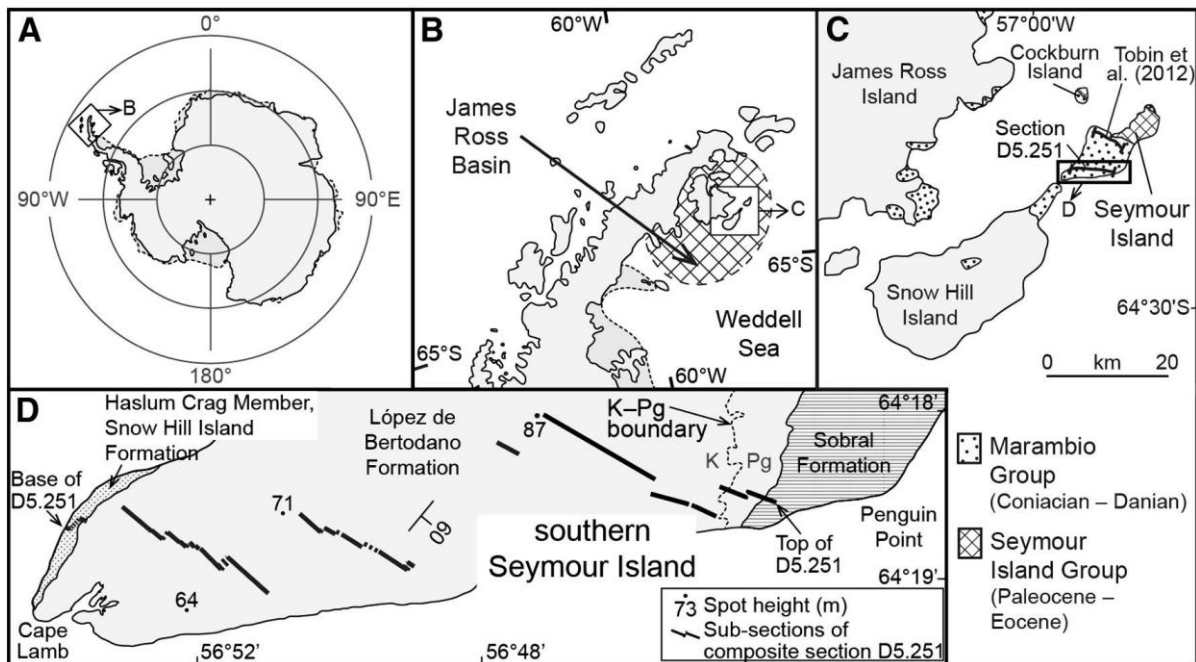
(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Lagarostrobos)

Lagarostrobos, Huon fenyő, bár ez valójában egy podocarp (*Podocarpaceae*), nem egy igazi fenyő (*Pinaceae*). Hosszú életű fa, néhány élő példánya meghaladja a 2000 évet, 10-20 m magasra nő, kivételesen elérheti a 30 métert is.

A „Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology International Journal” folyóiratban megjelent tanulmány részletes elemzést mutat be az Antarktisz-félsziget északkeleti csücskében található a Seymour-szigeti szárazföldi eredetű kiváló megőrzési állapotú palynomorphák (spórák és pollenek) mintákról. A Seymour-sziget a legkiterjedtebb és legtávolabbi paleogén leletanyag forrása a magas déli szélességi köröktől, amely a kréta időszak óta a jelenlegi szélességi fokon (65°S) maradt (Hathway, 2000).



(forrás: www.researchgate.net/publication/262192888_Latest_Cretaceous-earliest_Paleogene_vegetation_and_climate_change_at_the_high_southern_latitudes_Palynological_evidence_from_Seymour_Island_Antarctic_Peninsula)
 Fény mikroszkóppal, áteső fényel készült képek az Antarktisz-félsziget, Seymour-sziget szárazföldi palynomorph mintákról.



(forrás: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018214002156, és lifeandplanet.net/uploads/8/6/7/2/8672988/bowman_et_al_2014.pdf)

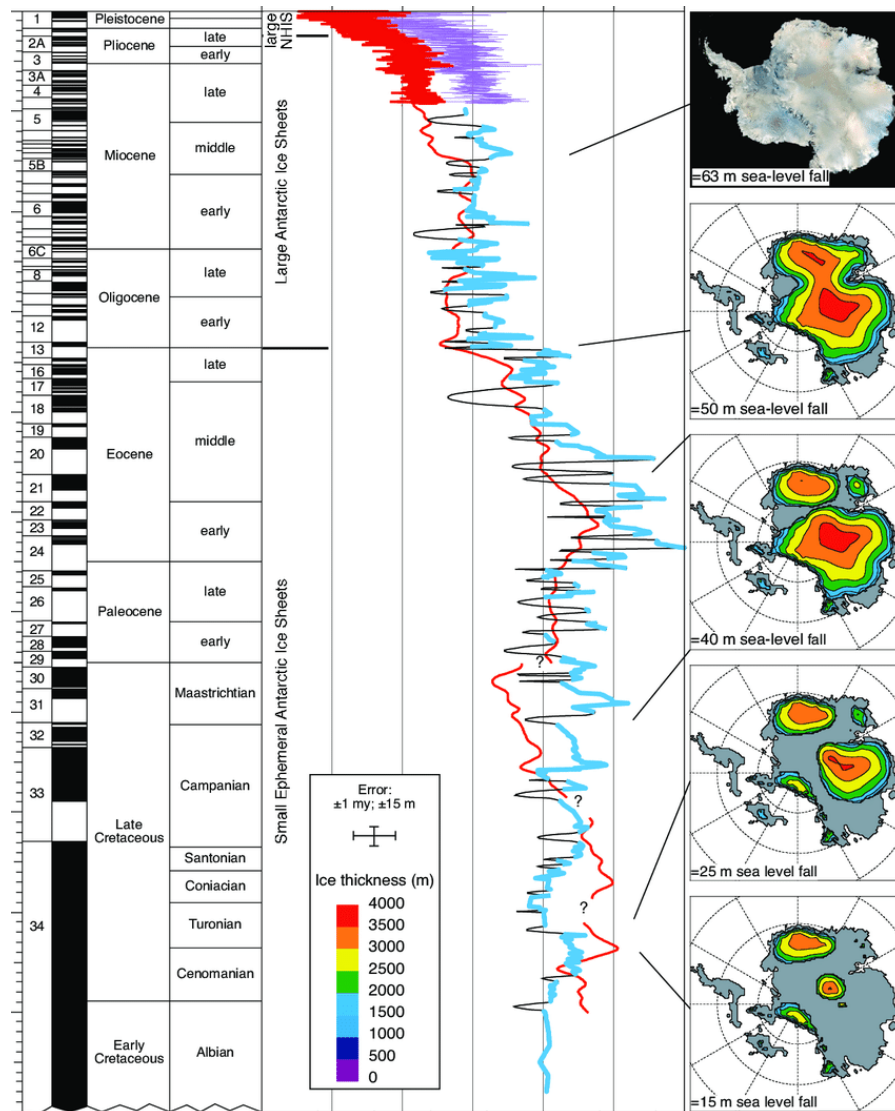


Az éves átlaghőmérsékletük $\sim 10-15^\circ\text{C}$. A magasabb tengerszint feletti magasságban fekvő araukari erdők utat nyitottak a fason túl ericaceous hegyvidékeknek szubalpin és alpesi körülmények között, éves átlagos hőmérsékletük $\sim 5-8^\circ\text{C}$. Nincs pontos modern botanikai megfelelője, de a legközelebbi modern növényvilág a Dél-Chile és Argentína Andoké. A maastrichti éghajlat a hűvös, párás körülmények között ingadozik a gyors felmelegedésen keresztül, kb. 2 millió évvel a Kréta - Paleogén átmenet előtt, majd a legkorábbi dán időszakban (66-61 millió évvel ezelőtt) lehűlés következik be.

(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/Délfenyő, hu.wikipedia.org/wiki/Délfenyő#/media/Fájl:Araucaria_araucana_Lanin3.jpg)

Chilei araukária (*Araucaria araucana*) A délfenyő vagy araukária (*Araucaria*) a tűlevelűek (Pinopsida) osztályának fenyőalakúak (Pinales) rendjébe, ezen belül az araukariafélék (Araucariaceae) családjába tartozó nemzetség. Nevét a chilei Arauco tartományról kapta.

A tengerszinti adatok szerint a késő kréta és középső eocén között kis- és közepes méretű (jellemzően $10\text{--}12 \times 10^6 \text{ km}^3$) rövid és közepes méretű jégtakarók keletkeztek. A mélytengeri $\delta^{18}\text{O}$ -adatokat azt mutatják, hogy a tengerszint-csökkenésekkel összhangban a jégtakaró növekedése megkezdődhetett. A globális lehűlés az eocén középső részén kezdődött, és a legnagyobb legkorábbi oligocén (33,55 millió évvel ezelőtt) kori növekedéssel csúcsosodott ki, amely egy nagy ($25 \times 10^6 \text{ km}^3$) antarktiszai jégtakarónövekedéssel végződött, amely 55-70 m-es euszatikus esést és 1‰ $\delta^{18}\text{O}$ növekedést okozott.



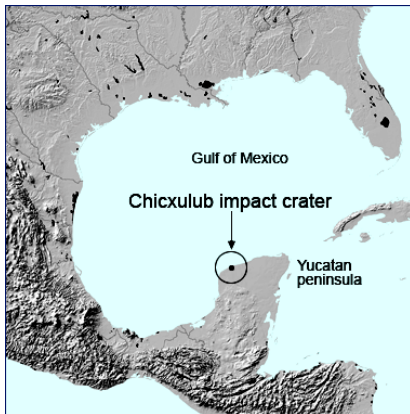
(forrás:
www.researchgate.net/publication/48191464_A_View_of_Antarctic_Ice-Sheet_Evolution_from_Sea-Level_and_Deep-Sea_Isotope_Changes_During_the_Late_Cretaceous-Cenozoic,

Kenneth G.

Molnár, Jakab D Wright, M. E. Katz, J. V. Browning, et.al.,
 A View of Antarctic Ice-Sheet Evolution from Sea-Level and Deep-Sea Isotope Changes During the Late Cretaceous-Cenozoic,
 The National Academies Press, doi:10.3133/of2007-1047.kp06, 2006.)

A legtöbb jelenlegi tanulmány szerint az Antarktisz az első jégtakaró a legkorábbi oligocén (33,55 millió évvel ezelőtt) földtörténeti korban alakulhatott ki.

A jura és a kréta között nem volt számottevő kihalás, a kréta végét viszont az egyik legnagyobb és, a dinoszauruszok kihalása miatt legismertebb tömeges pusztulás, a kréta–tercier kihalási esemény zárja le, amely során kihaltak a pteroszauruszok, a nyitvatermők és a hüllők jelentős része, teljesen eltűntek az ammoniták és a dinoszauruszok. A fajok 71-81 százaléka esett áldozatul.



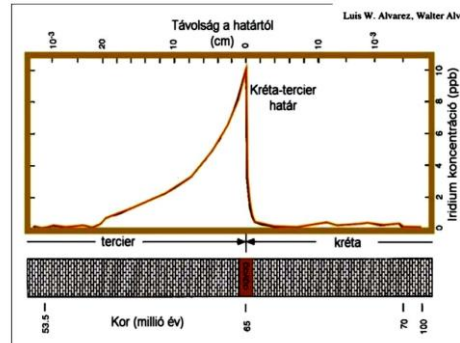
6 June 1980, Volume 208, Number 4448

SCIENCE

Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction

Experimental results and theoretical interpretation

Luis W. Alvarez, Walter Alvarez, Frank Asaro, Helen V. Michel



(eloadas.elte.hu/eloadasok/PJ_16mar16.pdf)

(forrás: evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/massexinct_07)

A kőzetekben ezt egy világszerte fellelhető, irídiumban gazdag réteg jelzi, amelyet a Yucatán-félszigetnél található Chicxulub-kráter keletkezésével hoznak összefüggésbe. Az egyik elmélet szerint egy kisbolygó Földnek ütközése lehet felelős a kihalásokért, míg más elméletek a fokozatos kihalást tartják valószínűnek.



(forrás: www.magzter.com/article/Children/Muse-Science-Magazine-for-Kids/THE-DAY-THE-CRETACEOUS-ENDED)

Illusztráció



(forrás: eloadas.elte.hu/eloadasok/PJ_16mar16.pdf)

Föld a becsapódás utáni por- és gázfelhő burokban, „Impakt tél”.



(forrás: br.pinterest.com/pin/368028600789417272/ és www.artstation.com/artwork/swamp-2982ce98-978a-4ff6-ab34-a08690cbec39)

A dániában a Højerup falu tengerpartján található a 14,5 kilométer hosszú, Stevns Klint sziklaszirt, melynek kiemelt jelentősége van a földi élővilág történetének megértésében. Ezek a rétegek a késő krétakorban, az úgynevezett maastrichti időszakban keletkeztek, nagyjából 72-66 millió évvel ezelőtt. A kőzetrétegek egyértelműen elválnak a felettük lévő, sárgásabb színű, mohaállatkák vázaiból kialakult mészkőrétegektől, melyek már a paleogén k A Stevns Klintben a világon legkönnyebben hozzáférhető Kréta-Paleogén határvonal az egész Földön megtalálható, különböző vastagságban.

A határvonal csúcstechnológias eszközökkel történő, argon-argon kormeghatározása 2013-ban 66.043 (+/- 0.043) millió évben állapította meg a kihalás idejét, lényegesen módosítva a korábban 65 millió évben megállapított dátumot.



(forrás: Fotó: Tóth András/Qubit.hu, qubit.hu/2019/08/27/a-fantasztikus-dan-sziklacsoport-ami-66-millio-evvel-kozelebb-visz-a-fold-tortenetehez)

A Stevns Klint a sziklaszirtok tetejéről, és a kréta-paleogén határvonal a kréta és Paleogén korú kőzetek között.

Ez a „fiskeler”-nek, vagy a benne talált halmaradványokról halas agyagnak nevezett réteg a normálisnál 160-szor nagyobb irídiumkoncentrációt tartalmaz. Ennek a vékony rétegnek a jelentőségét jól mutatja, hogy az alatta lévő, fehéres kőzetek lerakódásakor a Földet még repülő és tengeri hüllők, illetve dinoszauruszok uralták.

A határvonal feletti sárgás kőzetek létrejöttekor pedig már a kihalást egyedül túlélő dinoszauruszcsoport, a madarak gyors diverzifikációnak indultak, átvéve a pteroszauruszok által hátrahagyott térbeli niche-eket, vagyis ökológiai fülkéket. A kréta-paleogén kihalás természetesen leginkább az emlősök korát hozta el, melynek csoportjai szintén nagyon gyorsan elterjedtek, hamar a szárazföld uraivá váltak, és 20 millió évvel később az óceánokat is meghódították.



(forrás: www.geologyin.com/2015/11/the-beauty-of-quebrada-de-humahuaca.html?m=1)

A Yesera képződmény a késő kréta korban lerakódott színes rétegek. A képződmény konglomerátumból, homokkőből és iszapkőből épül fel.

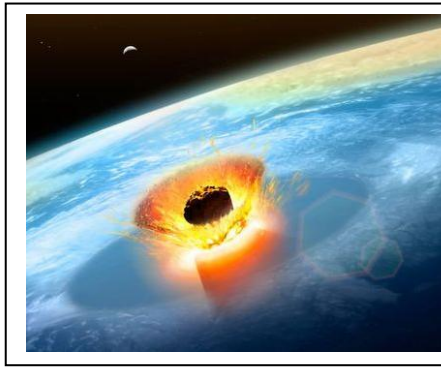


(forrás: [en.wikipedia.org/wiki/Cretaceous–](http://en.wikipedia.org/wiki/Cretaceous–Paleogene_boundary#/media/File:KT_boundary_054.jpg)

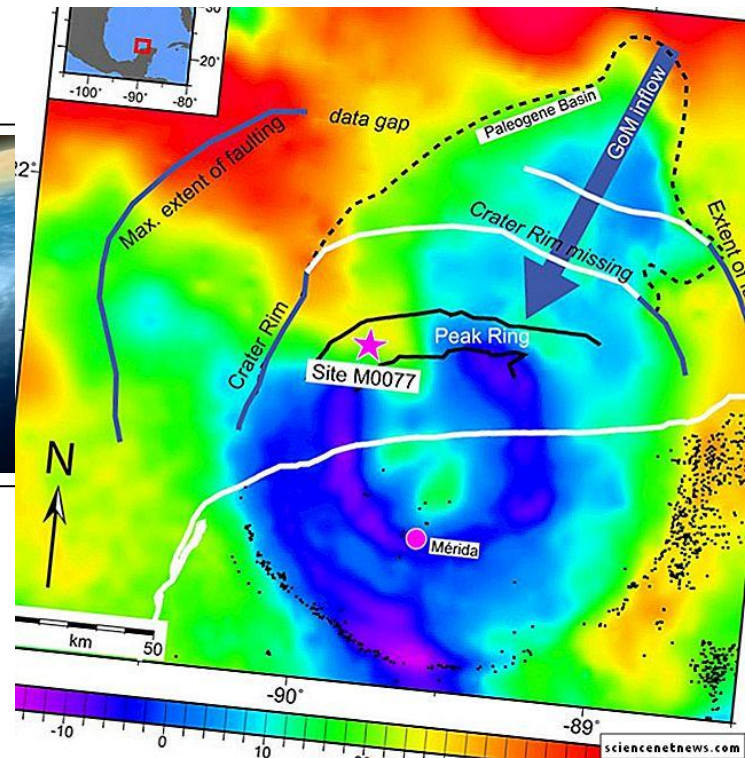
[Paleogene_boundary#/media/File:KT_boundary_054.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Cretaceous–Paleogene_boundary#/media/File:KT_boundary_054.jpg))

Badlands közelében Drumheller, Alberta, Kanada, ahol a jég- és poszt-glaciális erózió feltárta a Kréta-Paleogén (K-Pg) földtörténeti időszak határt.

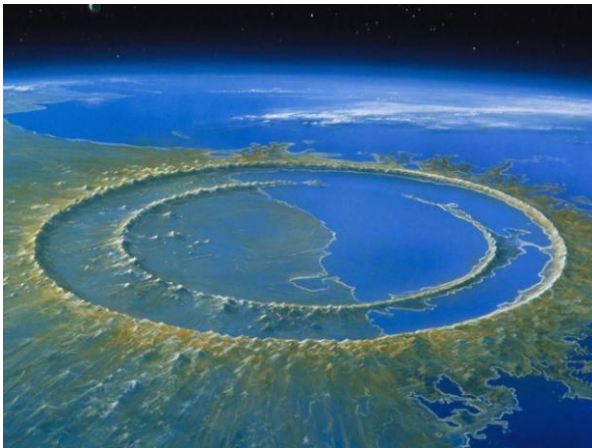
Chiccuric kráter gravitációs térképe.



(hu.sciencenetnews.com/az-elet-visszater-a-chicxulub-kraterbe-majdnem-az-aszteroida-bukasa-utan/)



Különböző színek a gravitációs anomália nagyságát mutatják.



Egy nemzetközi kutatócsoport megállapította, hogy azt a 66 millió éve bekövetkezett kozmikus katasztrófát, ami a dinoszauruszok kipusztulását előidéző eseménysort kiváltotta, egy 17 km átmérőjű kis égitestnek a lehető leghalálosabb, a látóhatárhoz képest nagy szögben történt, meredek becsapódása váltotta ki.

(eloadas.elte.hu/eloadasok/PJ_16mar16.pdf)

Ma széleskörben elfogadott vélemény a kutatók szerint hogy a földtörténet egyik legnagyobb kihalási eseményét, a Kréta-Harmadidőszak határán egy kis égitest Földre történt becsapódása váltotta ki, illetve ez adta meg a kezdő lökést egy nagyon összetett, és időben elhúzódó kipusztulási eseménysornak.



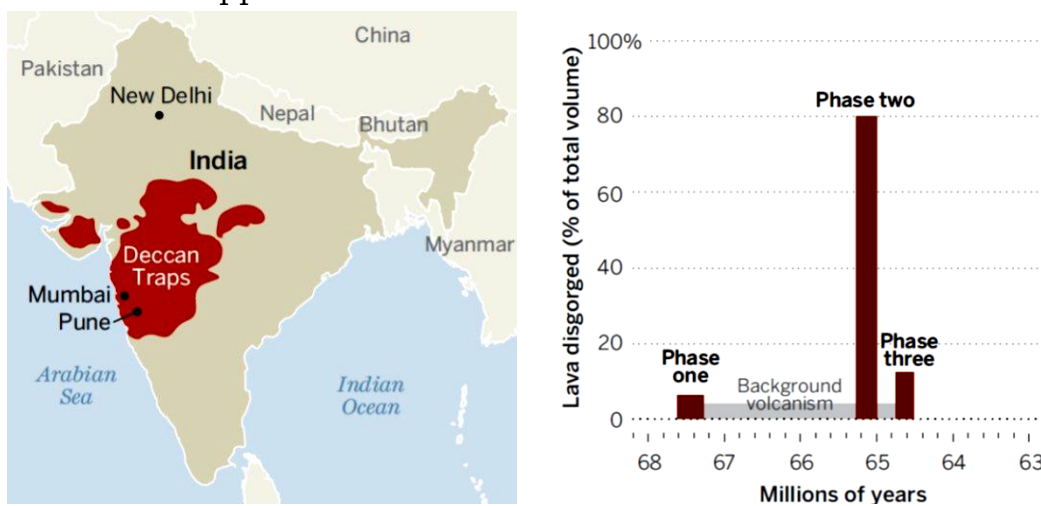
(udipediya.ru/pochemu-vymerli-dinozavry-i-skolko-let-nazad-eto-proizoshlo/)

Az aszteroida becsapódási elmélet erőteljes revízióra szorul a Princeton Egyetem (New Jersey, Egyesült Államok) kutatócsoportjának vizsgálatai szerint, amelyről a Science szaklap (U-Pb geochronology of the Deccan Traps and relation to the end-Cretaceous mass extinction, Science 09 Jan 2015: Vol. 347, Issue 6218, pp. 182-184, DOI: 10.1126/science.aaa0118) számol be.



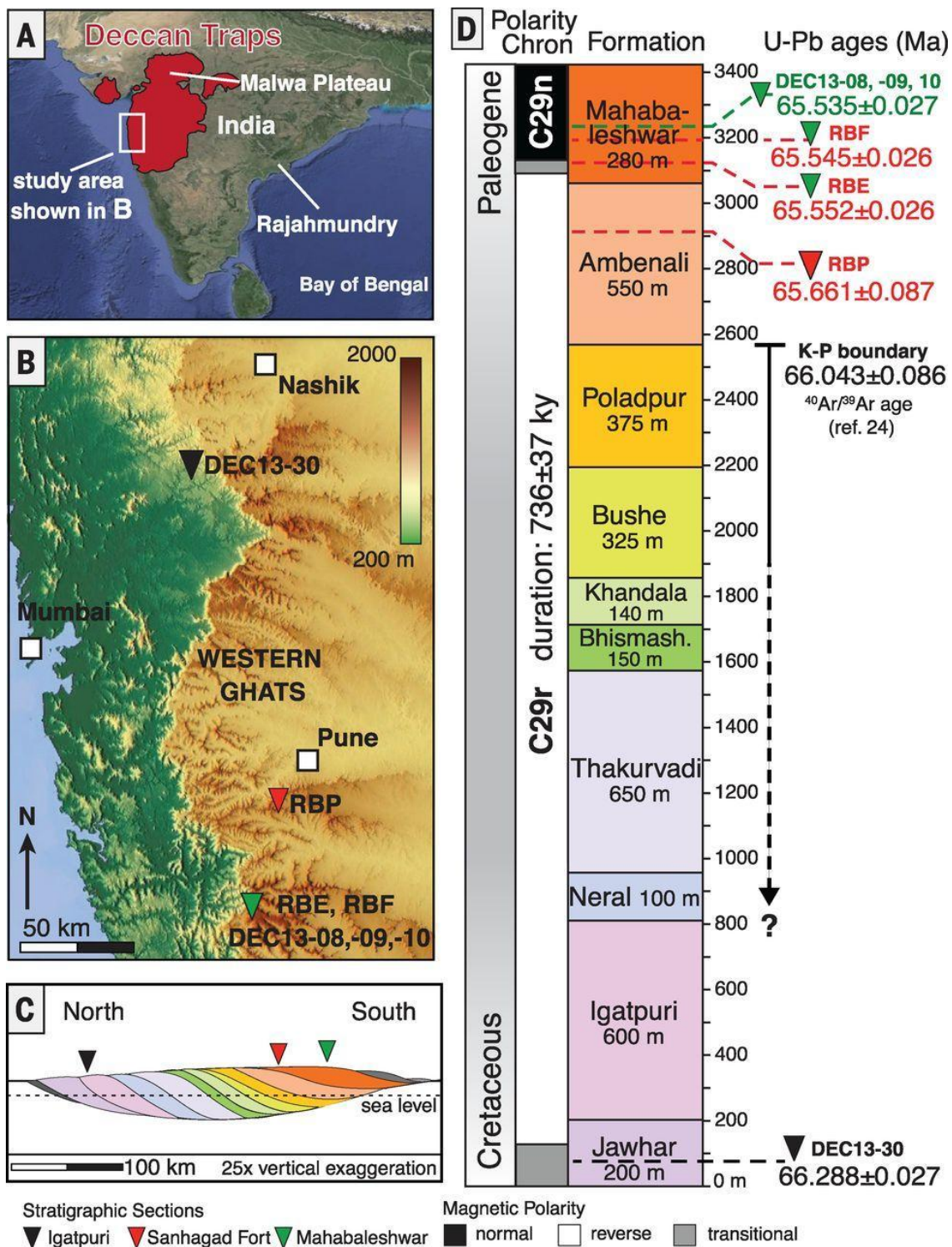
(forrás: eloadas.elte.hu/eloadasok/PJ_16mar16.pdf)

A Dekkán-trapp a Mumbaitól keletre levő Matheran közelében



A Dekkán trap bazaltos vulkanizmusának térbeli és időbeli elosztása.

A Dekkán-trapp vagy Dekkán-plató egy nagy méretű magmás régió a középnyugat indiai, Dekkán-fennsíkon, amely az egyik legnagyobb vulkanikus terület a Földön. Több megszilárdult bazaltfolyam rétegből tevődik össze, melyek együtt több mint 2 000 méter vastagon fednek le egy 500 000 km²-es területet. A trapp utótag a svéd trappa szóból származik, ami a felszín lépcsőszerű dombjaira utal.



(forrás: [science.sciencemag.org/content/347/6218/182](https://www.sciencemag.org/content/347/6218/182))

Blair Schoene, Kyle M. Samperton, Michael P. Eddy, Gerta Keller, Thierry Adatte, Samuel A. Bowring, Syed F. R. Khadri, Brian Gertsch, U-Pb geochronology of the Deccan Traps and relation to the end-Cretaceous mass extinction, *Science* 09 Jan 2015: Vol. 347, Issue 6218, pp. 182-184 DOI: 10.1126/science.aaa0118 és www.researchgate.net/publication/341162632_An_evaluation_of_Deccan_Traps_eruption_rates_using_geochronologic_data)



(i.pining.com/originals/44/fb/a0/44fba0ff86aa9cb56f77c6508e5ca46f.jpg)
Illusztráció



(www.wikiwand.com/en/Deccan_Traps)
Deccan Traps, Maharashtra, India
(2018. SkySat satellite image)
Deccan Traps, Ajanta Caves

A Dekkán-trapp 60–68 millió évvel ezelőtt jött létre, a kréta időszak végén. a talajerózió és a kontinensvándorlás hatására a jelenlegi méretére csökkent volna, a lávafolyamokkal borított terület a becslés szerint elérte az 1,5 millió km²-t, a mai India méretének felét.

Annak ellenére, hogy az eruptív vulkánkitörésekkel szemben a trapp-vulkanizmus nem juttat port és hamut a földi légkörbe, a majd 750 ezer évig eltartó Dekkán trapp-vulkanizmus hatására rendkívül nagy mennyiségű széndioxid és egyéb gázkomponens került az atmoszférába. Az így kialakult üvegházhatás földtörténeti léptékben mérve rendkívül gyors és rapid globális felmelegedést okozott. A számítások szerint mintegy 8 Celsius fokkal emelkedett meg a Föld akkoriban amúgy is meleg globális átlaghőmérsékletét Chicxulub-bechapódás előtti utolsó fél millió évben.

Továbbá az óceánok elsavasodása döntő tényező volt a kréta végi nagy kihalási hullám elindításában – erre a következtetésre jutott a Princeton Egyetem kutatócsoportja -nyilatkozta a Science News-nek Greta Keller, a Princeton Egyetem földtudományi tanszékének professzora..

Ahogy a londoni Termész etrajzi Múzeumban dolgozó Dr. Norman Macleod, rámutatott „Katasztrófális hatásokról beszélünk az élőhelyváltozások, a csapadékmennyiség változásai és a klímaváltozások tekintetében, melyek erőssége sokszorososan, több nagyságrenddel meghaladta azon változásokét, amelyek a mai világban is folyamatban vannak.”.

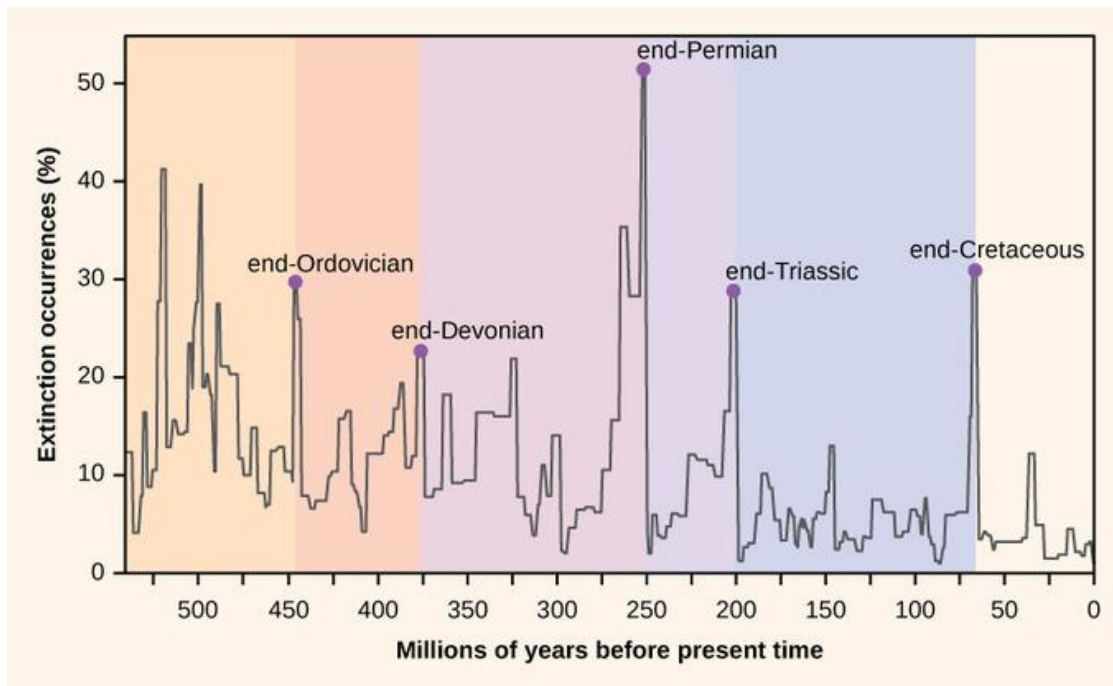
„Hat millió évvel a K-T határ előtt körülbelül húsz ammoniteszfaj élt a világ óceánjaiban. Három millió évvel később már csak nagyjából tizenöt volt, egy millió évvel a K-T határ előtt pedig már a fajok fele sem létezett, melyek közül kevesebb, mint tíz maradt fenn, tehát a kihalási esemény már évmilliókkal korábban megkezdődött. A legérdekesebb az, hogy ugyanez figyelhető meg a halak esetében, a hüllők esetében és az emlősök esetében is. Ezek a csoportok egy évmilliókon át tartó kihaláson mentek keresztül, így igazán meglepő lenne, ha a dinoszauruszokkal nem ugyanez történt volna, és szerintem épp egy ilyen hosszú ideig tartó kihalást szenvedtek el.”

A kihalás folyamatossága, a határt megelőző volta és a fosszilis rekord is alátámasztja a vulkanikus klímaváltozás teóriáját

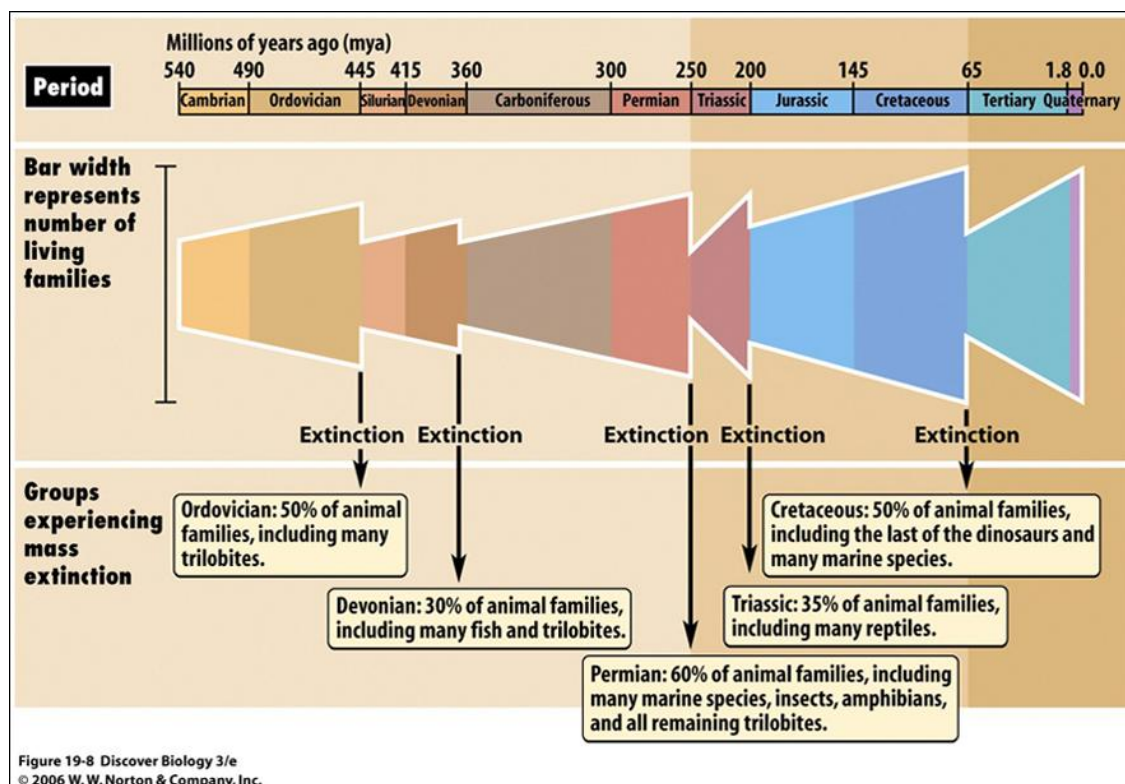
A Dekkán trapp-vulkanizmus miatt amúgy is megtizedelt dinoszaurusz csoportok ezt az újabb negatív környezeti változást már nem tudták elviselni.

A K-T bechapódás, a Princeton Egyetem kutatói szerint, tehát csak azt a bizonyos pontot tette fel az i betűre.

Az elmúlt 500 millió év öt nagy kihalási eseménye közül négyenél a dekkáni trapp-vulkanizmushoz hasonló események játszottak szerepet, úgynevezett LIP (Large Igneous Province) -vulkanizmus (nagy magmás területeket létrehozó vulkáni tevékenység – nyilatkozta a Science News-nek Blair Schoene, a Princeton Egyetem földtudományi tanszékének docense,).



(forrás: opened.cuny.edu/courseware/lesson/743/student/?task=4)

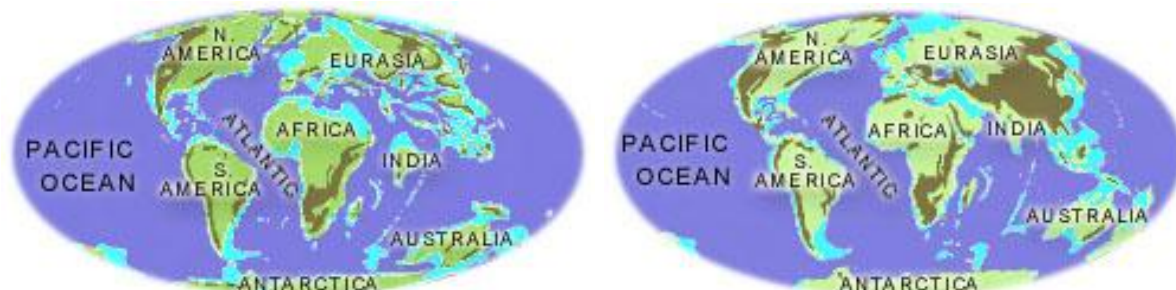


(forrás: www.quora.com/Are-we-in-the-middle-of-a-mass-extinction és qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-502ab5b534f853583ae8ce479b2ffda7)

A krétakor végén növekedett a mai domináns életforma: az emlősök. Egyik emlős sem volt nagyobb, mint egy macska vagy kicsi kutya, legtöbbjük egér- vagy patkány méretű. A krétakorban megfigyelt másik fejlődés a kis hüllők és kételtűek, például a szalamandra, a teknős vagy a gyík.

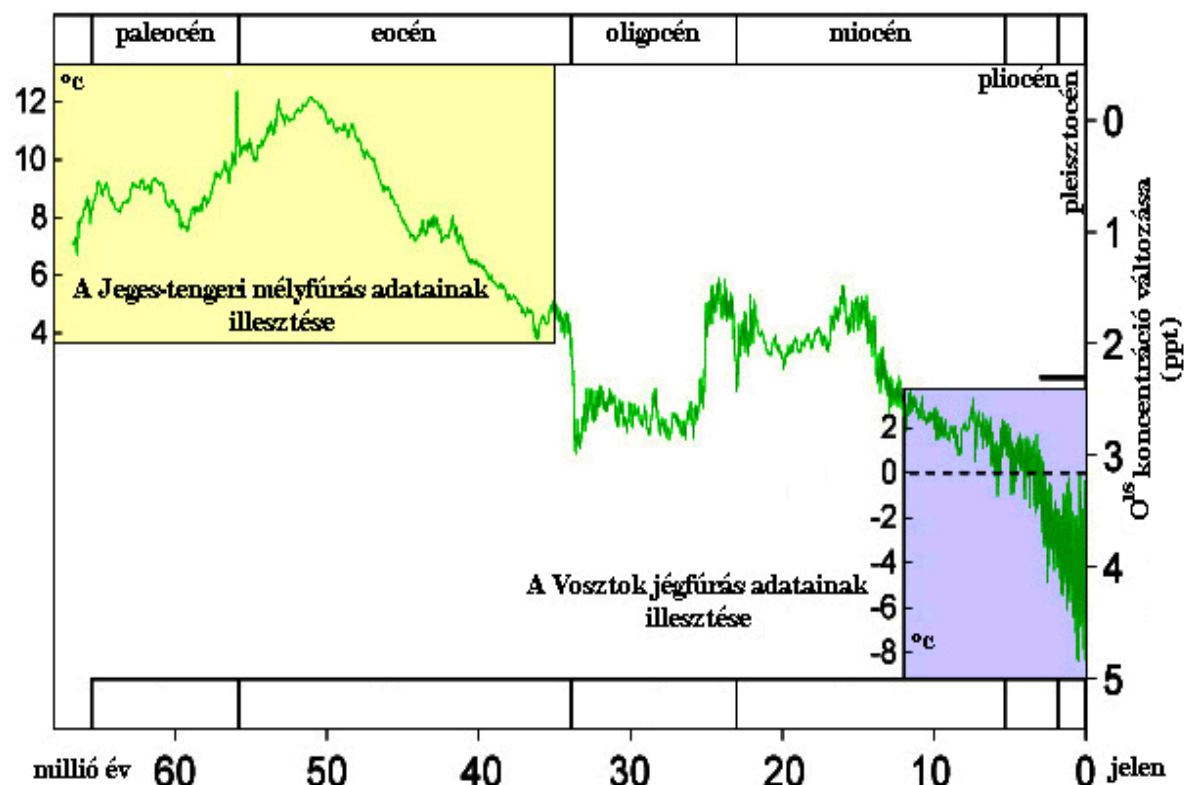
A kainozoikum (66 – 0 millió évvel ezelőtt)

újidő kezdetén a **harmadidőszakban** vagy **tercierben** a tektonikus lemezmozgások folytatódtak, a terciér végére a kontinensek nagyjából a mai helyükre kerültek.



(forrás: www.corzakinteractive.com/earth-life-history/431_paleocene.htm)

Az indiai szubkontinens egyesült Ázsiával, Ausztrália levált az Antarktiszról. A mezozoikumban elkezdődött hegységképződések folytatódtak, ekkor volt a Pacifikus- és Eurázsiai-hegységrendszer kialakulásának fő időszaka.

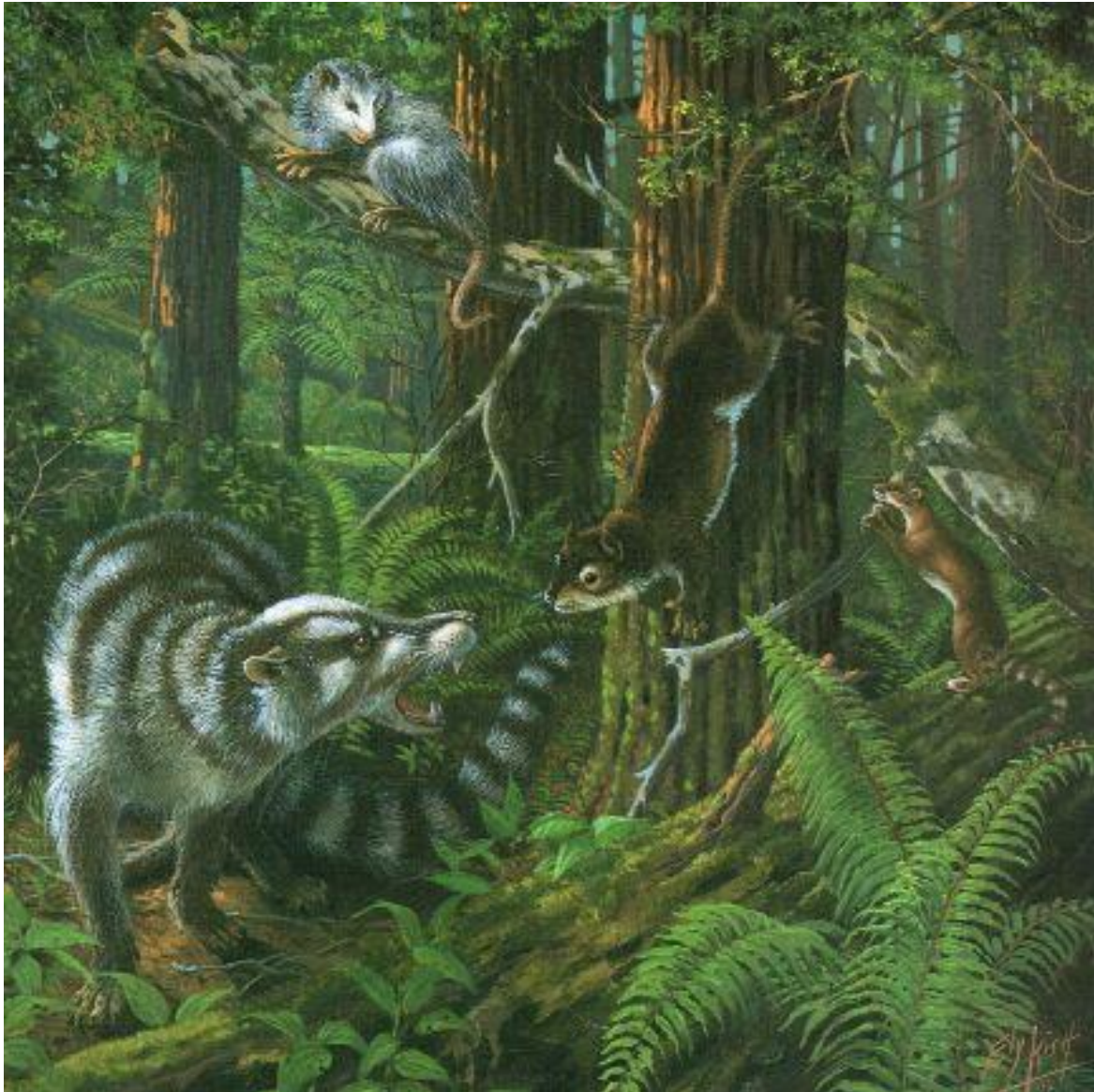


(forrás: Robert A. Rohde „65 Myr Climate Change”

<https://courses.lumenlearning.com/suny-history-of-our-tribe/chapter/3-primate-evolution/>, és https://hu.m.wikipedia.org/wiki/Fájl:Hatvanötmillió_éves_hőmérsékletdiagram.jpg)

Gyakori volt a lehűlés és felmelegedés váltakozása.

Szinte valamennyi alapvető emlőstípus kialakult, és a növényvilág fejlődése is újból fellendült, különösen a zárvatermők (Angiospermae) csoportjai fejlődtek erőteljesen, így a lombosfák, a fűfélék, és a virágos növények. A lomboserdők és füves-ligetes mezők terültek kitűnő életfeltételeket nyújtottak a patásoknak és egyéb nagyemlősöknek.



(forrás: palaeos.com/cenozoic/paleocene/paleocene.html)

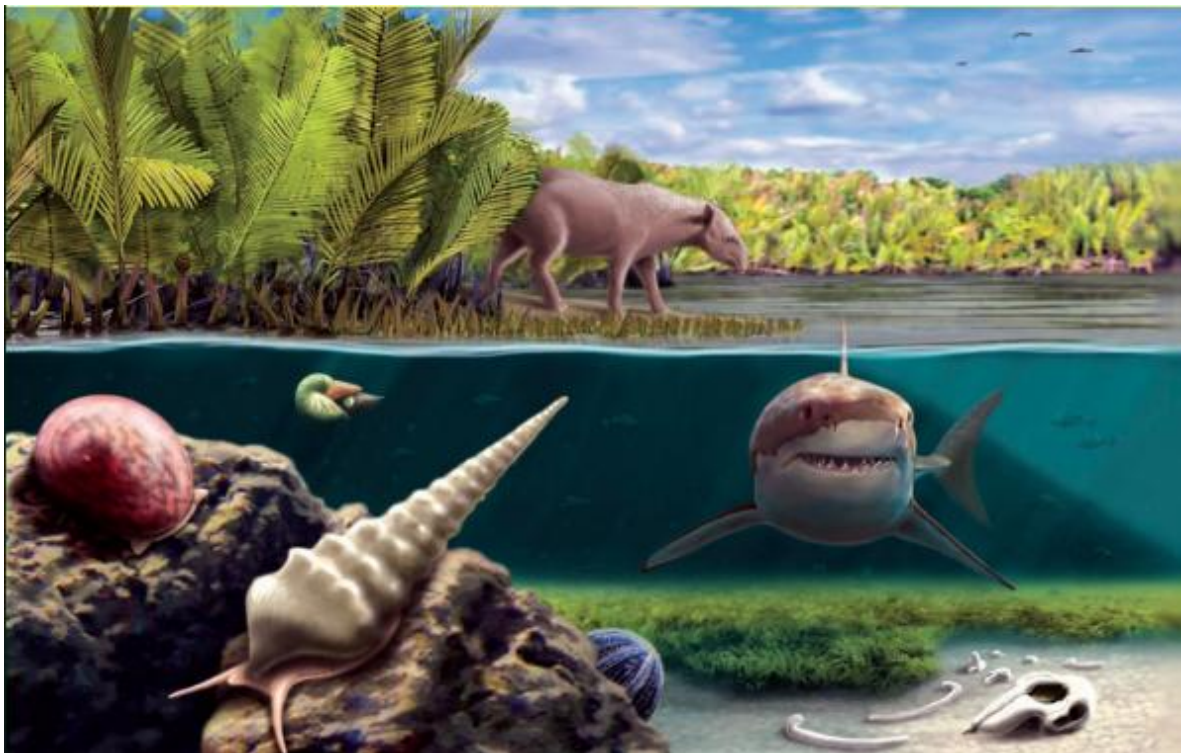
A korai paleocén korban kiterjedt sűrű erdők borították magasabb szélességi fokok területeit. Ez a jelenet Wyoming korai őslényét mutatja. A növényzet: sequoia fák, sűrű aljnövényzet cserjék, mint a tea és babér, páfrányok és zsurló. A földön Chriacus, egy mosómedve-szerű mindenevő. Chriacusal szemben a fán Ptilodus. Magasabban a fán Peradectes, egy korai opossum-szerű erszényes.

56 millió évvel ezelőtt klimatológiai léptékkal nézve rendkívül hirtelen, néhány ezer év alatt a bolygó amúgy is magas átlaghőmérséklete 5 Celsius-fokkal megemelkedett.

Nehéz elképzelni, de a sokmillió éves meleg időszak tetőfokán, a korai eocénben beálló klímaoptimum idején a Föld átlaghőmérséklete meghaladta a 20 °C-t (ma ez 14.9 °C). Ennek köszönhetően az egész bolygón kiegyenlített, meleg éghajlat uralkodott.

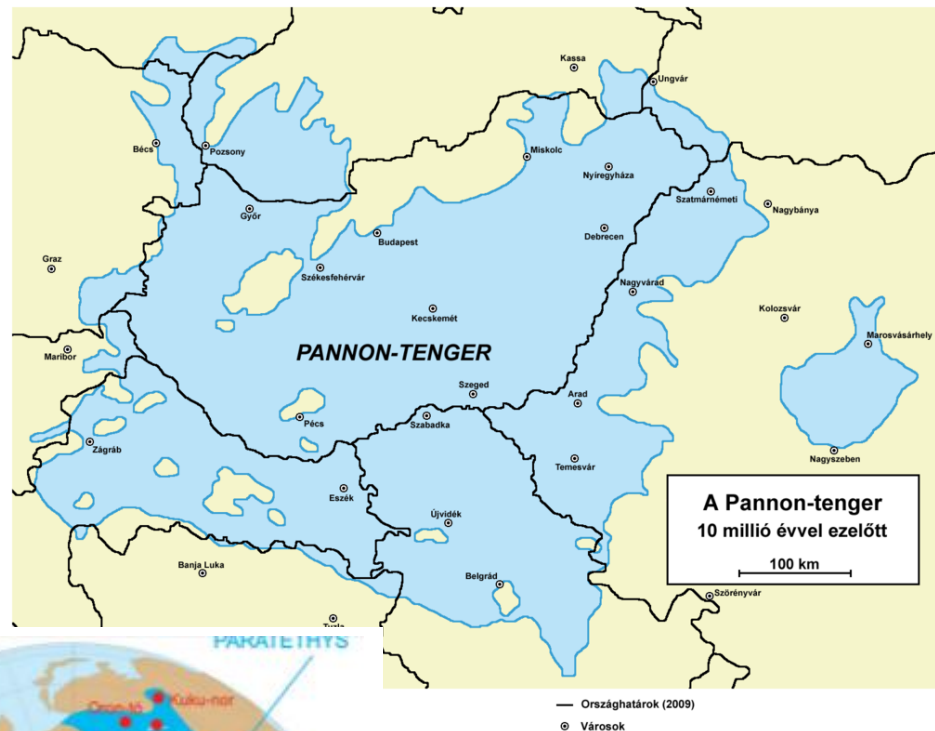
A trópusi égöv jóval kiterjedtebb volt, Európát és Észak-Amerikát esőerdők borították, de Alaszkát és Grönlandot is szubtrópusi klíma jellemezte. Ebben az időben a Kárpát-medence szintén a trópusi égövbe tartozott, és amikor éppen nem borította tenger, a kedvező éghajlatnak köszönhetően dús erdőségek alakultak ki területén.

Amikor tenger borította, akkor pedig varázslatosan gazdag élővilág népesítette be korallokkal, cápákkal, tengeri tehenekkel, és tenyérnyi méretű mézsvázú egysejtűekkel.” Dulai Alfréd geológus, paleontológus könyvében olvashatjuk.



(forrás: Dulai Alfréd (szerk.): Eocén élővilág a Kárpát-medencében: Üvegház – 22 millió éven át. Budapest, Magyar Természettudományi Múzeum, 2019. – 328 p., ISBN 978-615-80345-2-4, és www.researchgate.net/publication/339147354_Az_utolso_meleghaz_a_Foldon_az_eocen)

A középső miocéntől a Pannon-medence gyorsan süllyedni kezdett. A középső miocén végére összeköttetése megszűnt a Tethys-maradvány Földközi-tengerrel és kialakult a Pannon-tenger, ami fokozatosan töltődött fel, miközben vize kiédesedett. A pleisztocénban megemelkedtek a medencén belüli hegységek és a nagy folyók nagyjából mai helyüket vették fel. A pleisztocén kori eljegesedés során Magyarország periglaciális (azaz a jégtakaróhoz közeli, de jéggel nem borított) terület volt, amit üledékek bizonyítanak.



(forrás: www.okologia.pte.hu/Files/zoogeo_07.pdf és www.mtafk.hu/konyvtar/kiadv/Schweitzer/3_A_Pannon-medence.pdf)

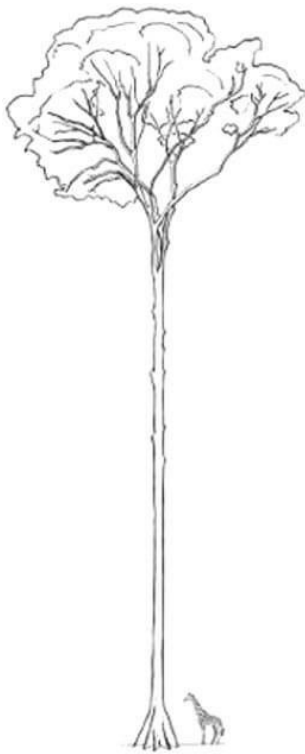
(Animáció: www.facebook.com/watch/?v=1592482090797564)



A *Congeria unguia caprae* nevű kagyló
A pleisztocén alatt a Balaton vízállása magasabb volt a mainál, a hullámok kimosták a fossziliákat a rétegekből.
(forrás: saját fosszilia gyűjteményből)



(illusztráció forrása: www.hirextra.hu/2010/06/28/nagy-falat-afrikanak/)



(forrás: Marc Philippe, a Lyoni Egyetem,
www.livescience.com/28052-giant-trees-found-in-thailand.html)

Észak-Thaiföldön találták meg a világ legnagyobb töretlen, megkövesedett fatörzsét, amely 72.2 méter, és az eredeti fa több mint 100 méter lehetett egy nedves trópusi erdőben kb. 800,000 évvel ezelőtt.

A paleogénban (65 - 26 millió évvel ezelőtt), (paleocén, eocén, oligocén időszakok) -trópusi-szubtrópusi klíma uralkodott Eurázsia és Amerika nagy részén, a kedvező klíma magasan északra is felhúzódott.



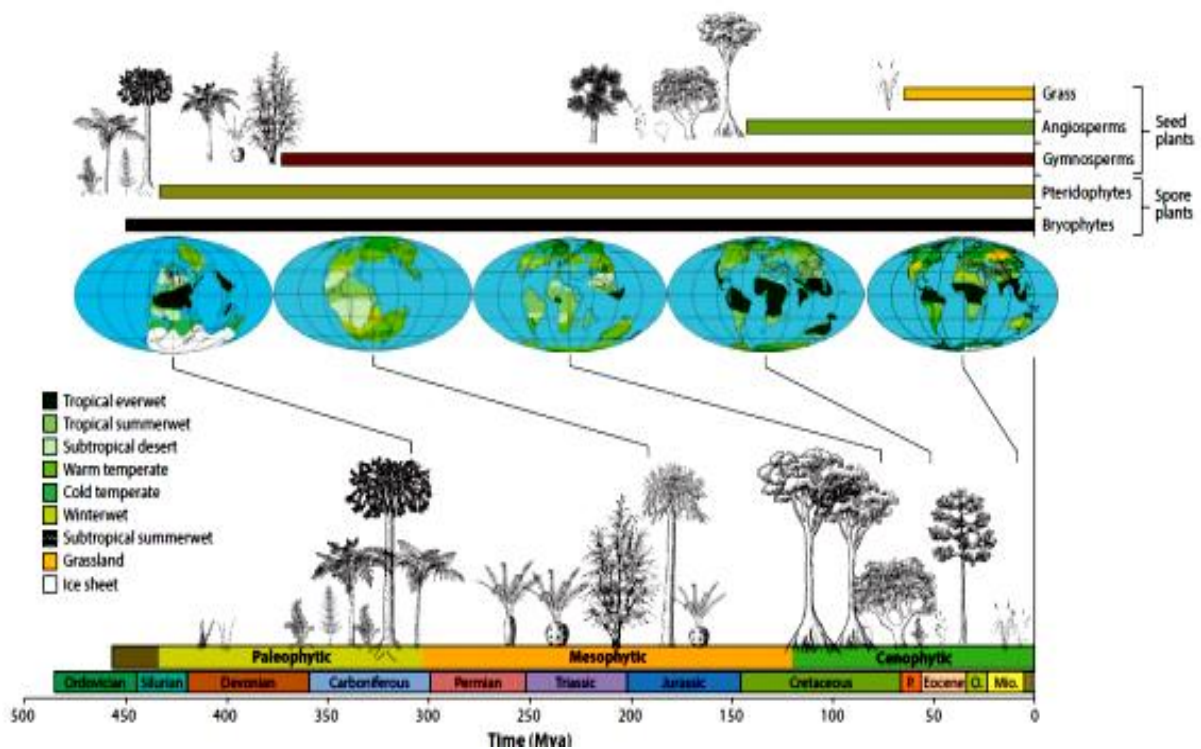
(illusztráció forrása: sokszinuvidék.24.hu/mozaik/2017/05/18/otven-magyarorszagnyi-erdoteruletet-fedeztek-fel/)



(www.msn.com/fr-be/lifestyle/travel/parcs-nationaux-époustouflants-du-monde-entier/ss-BB13qV9j?ocid=ems.msn.dl.AmboseliParkKenya#image=10)
Illusztráció



(illusztráció forrása: <https://mfor.hu/cikkek/makro/egy-amerikai-oriasceg-is-hasznos-huzhat-az-amazonas-irtasabol.html>)



(forrás: Time line of plant evolution (From McElwain, 2018, <https://paleonerdish.wordpress.com/2018/05/16/lessons-from-the-past-paleobotany-and-climate-change/>))



(forrás: ww.kew.org/mng/gallery/576.html)

Vadpálmák csoportja, Sarawak, Borneo.

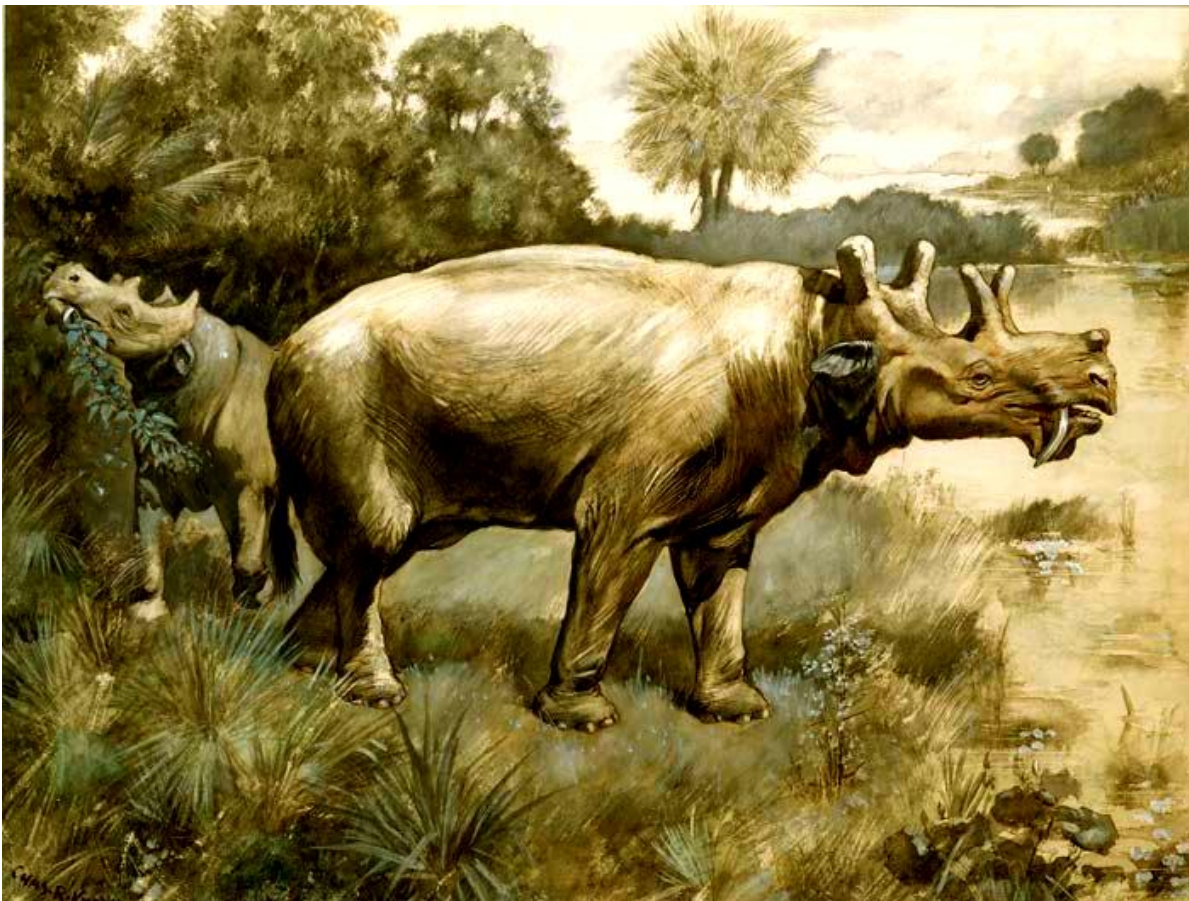
(Növények: Palm, Areca Catechu Arenga saccharifera Taro, Colocasia esculenta)

A paleogén földtörténeti időszakot néha nummulitikumnak is nevezik a Nummulites nemhez tartozó ősmaradványok nagy gyakorisága miatt. A paleogén első negyedében volt a bolygó egyik leggyorsabb globális felmelegedése, aminek eredménye, a paleocén-eocén hőmérsékleti csúcs jelentős változásokat okozott a tengeri élővilágban.

A paleocén-eocén felmelegedés felborította az óceánok és a légkör áramlási rendszereit, ami a szárazföldön segítette az emlősök specializálódását, a mélytengerekben pedig a fenéklakó foraminiforák számos fajának kihalásához vezetett.

A korszak végén az éghajlat némileg lehűlt, és Észak-Amerikában visszahúzódtak a beltengerek.

Az emlősök közül sok faj nagyméretűvé vált, a szárazföldön elfoglalva az óriás őshüllők helyét, mások egyéb szárazföldi, vízi és légi élőhelyekre specializálódtak. Ebben a korszakban vették fel a maival jórészt megegyező alakjukat a madarak fajai.



(illusztrációt készítette: Charles R. Knight -

<http://research.amnh.org/paleontology/artwork/knight/index.html>,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1222092>)

Uintatherium, Eocén kori ősemmlős.



(forrás: facebook.com/LAngoloDellaGeologia/photos/a.109771225735332/3814487515263666/)

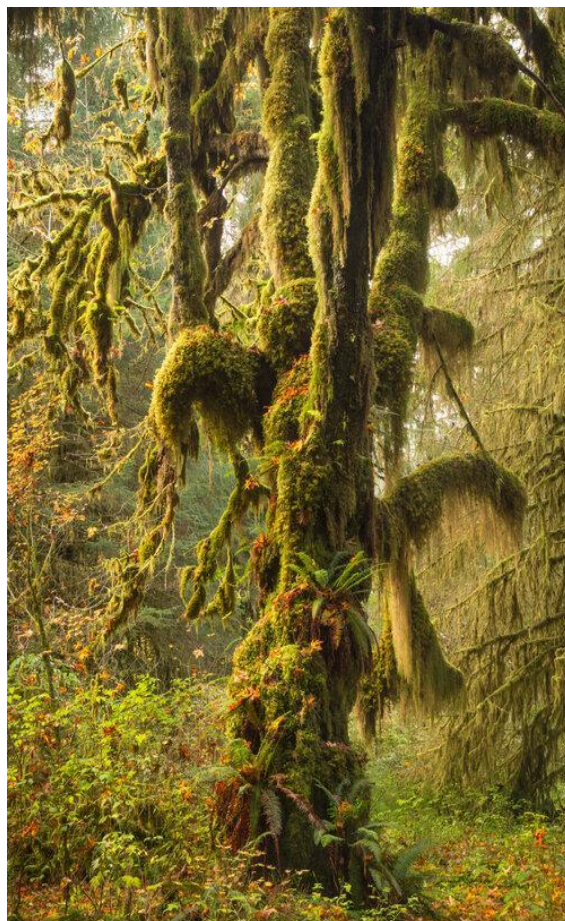
Nummulitikus mészkő (Kachchh-medence, Nyugat-India)

Jelenleg is élő tengeri egysejtűek harmadidőszaki, nagy testű rokonai, lényegében óriás foraminifera sejtek. A nummuliteszek gyakran elérhetik a 6 cm-es átmérőt. Kora harmadidőszaki, eocén korú normál sósvízi környezetben lerakódott kőzetekben halmozódtak fel, az egykori Tethys-óceán és a Paratethys selfjén.



(forrás: saját fosszília gyűjteményből)

A Nummulites a likacsosházúak (Foraminifera) törzsébe tartozó kihalt egysejtűek neme.



(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Białowieża_National_Park)

A neogénban (26 - 12 millió évvel ezelőtt), vagy újharmad időszakban (miocén, pliocén) éghajlata már lényegesen hűvösebb volt. A hűvös-, mérsékelt éghajlat alatt hatalmas lomboserdők alakultak ki, Ezeket főként juhar-, tölgy-, bükk- és szilfajok alkották, de helyenként kiterjedt erdőségeket hoztak létre a tűlevelűek is. A növényvilág képe ekkor már lényegében a maihoz hasonló volt.



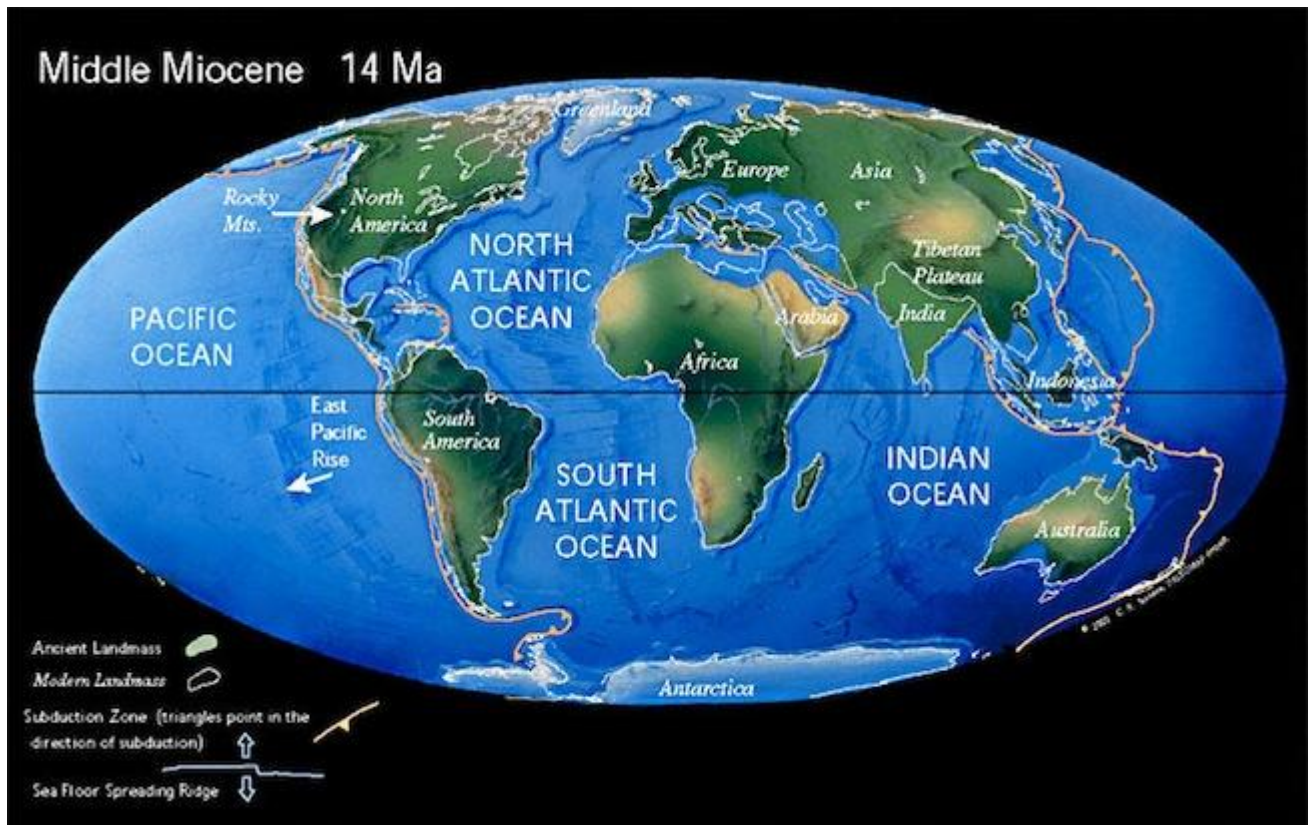
(forrás: www.seniorplus.hu/itt-vannak-az-utolso-oserdok-europaban/)

Újabb törzsfajlódási esemény nem történt, csak a már kialakult növényekkel a Föld, az éghajlatváltozásoknak megfelelően, benépesedett. A harmadidőszakban szubtrópusi, trópusi flóra volt a jellemző.

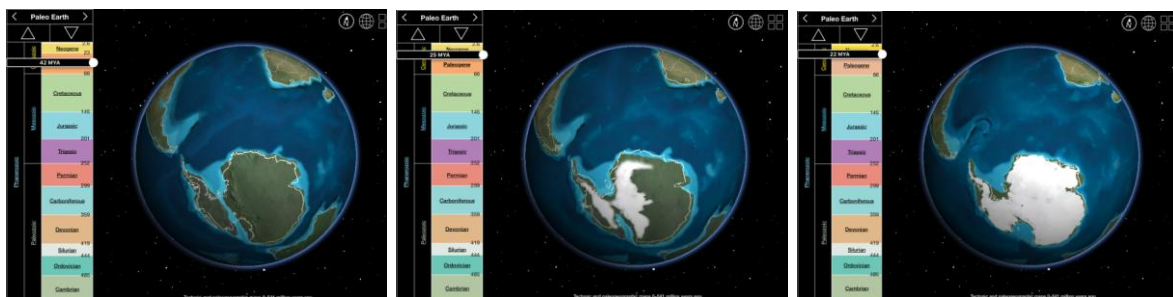


(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/Trópusi_és_szubtrópusi_lombhullató_erdő)
Kelet-Afrika erdős szavannája

(f)

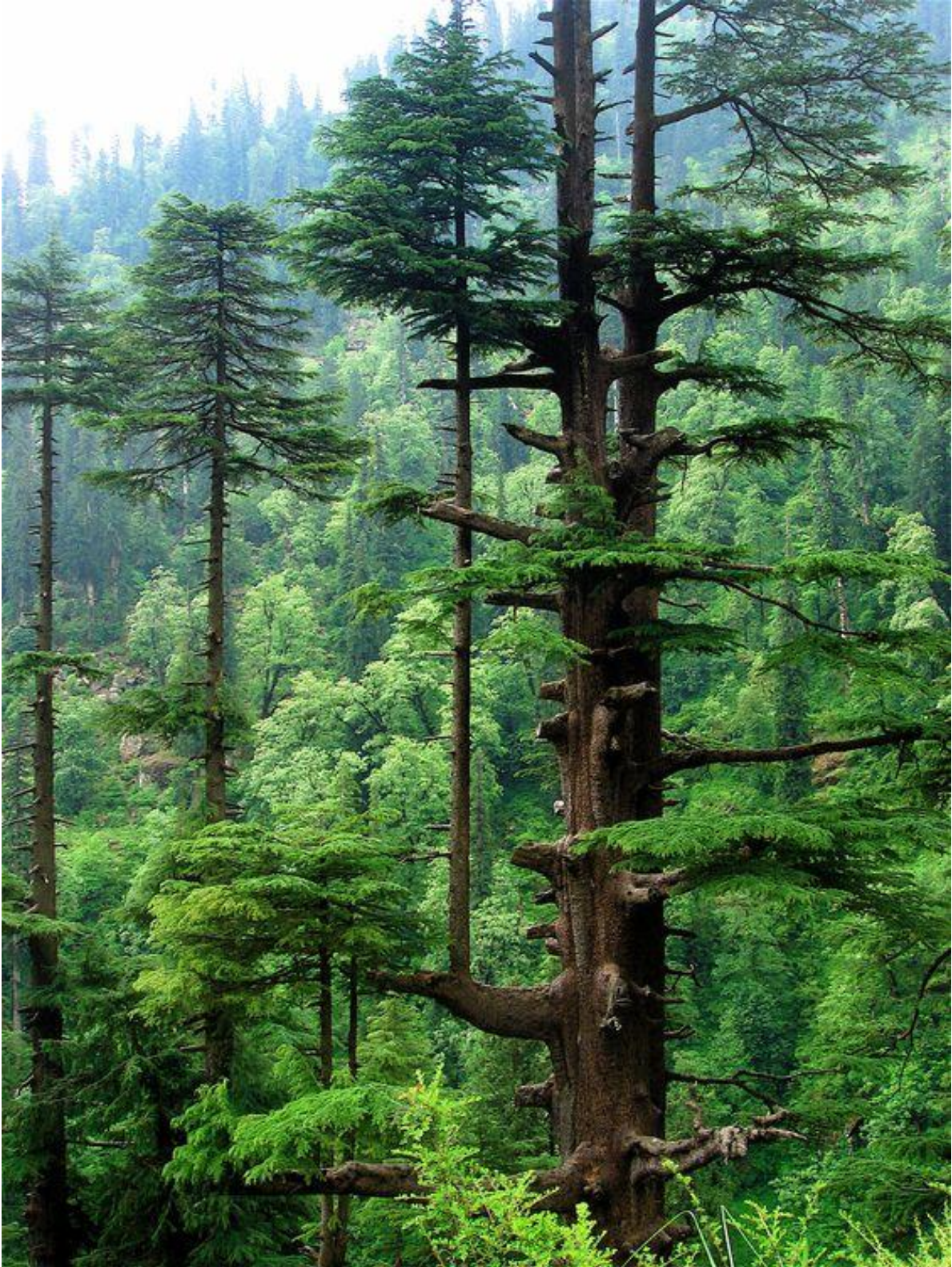


(forrás: resources.has.concord.org/resources/Shale-gas/PaleographicMap-Scotese-bootstrap.html)



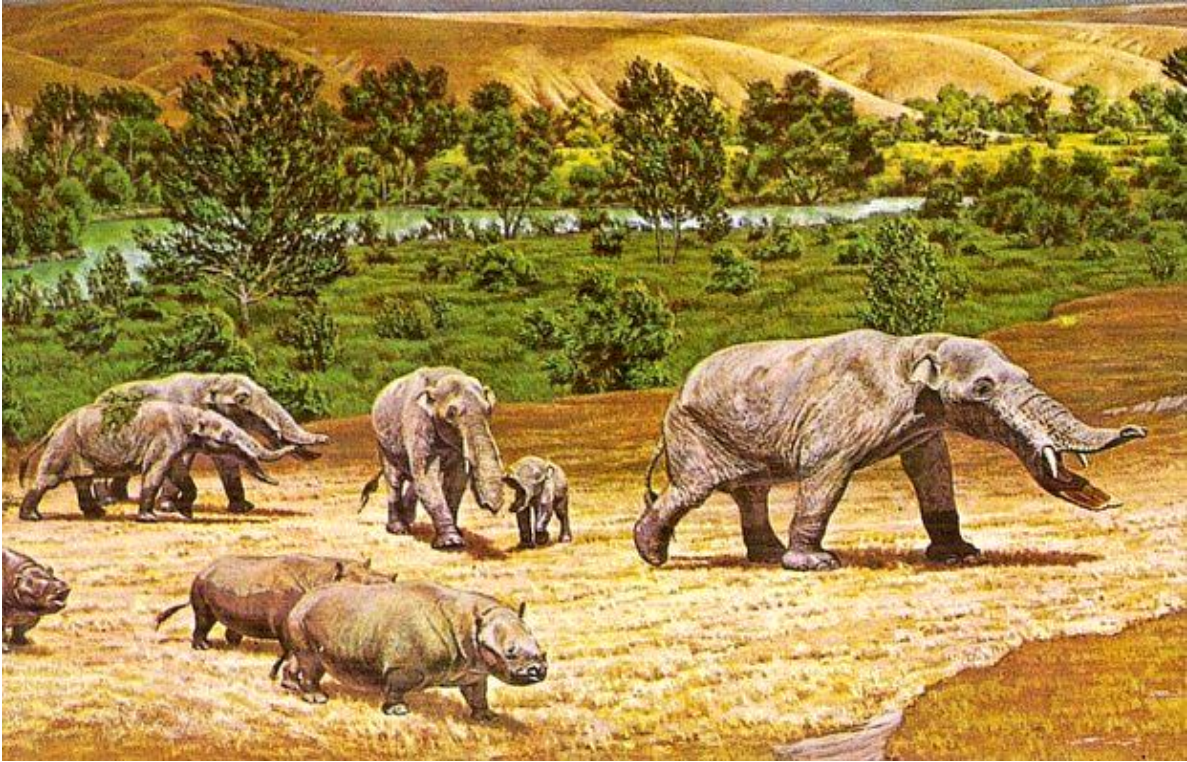
(forrás: www.biointeractive.org/classroom-resources/earthviewer és www.biointeractive.org/professional-learning/educator-voices/earthviewer)

A körülbelül 50 millió évvel ezelőtt elkezdődött, földtörténeti léptékben drámai gyorsaságú lehülés nyomán kialakult a jelenkori jégkorszak. A mezozoikumi magas hőmérséklethez képest már az eocénben megkezdődött a lehülés, a miocén végére pedig az Antraktiszon kialakult a jégtakaró, majd a harmadidőszak végén az északi pólus környezetében is megkezdődött az eljegesedés. A pleisztocénben az összefüggő jégtakaró Európában a mai Krakkóig, Amerikában New Yorkig ért. A jégkorszakok során a jégtakaró periodikusan hol előrenyomult, hol visszavonult.



(forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/Cedrus_deodara)

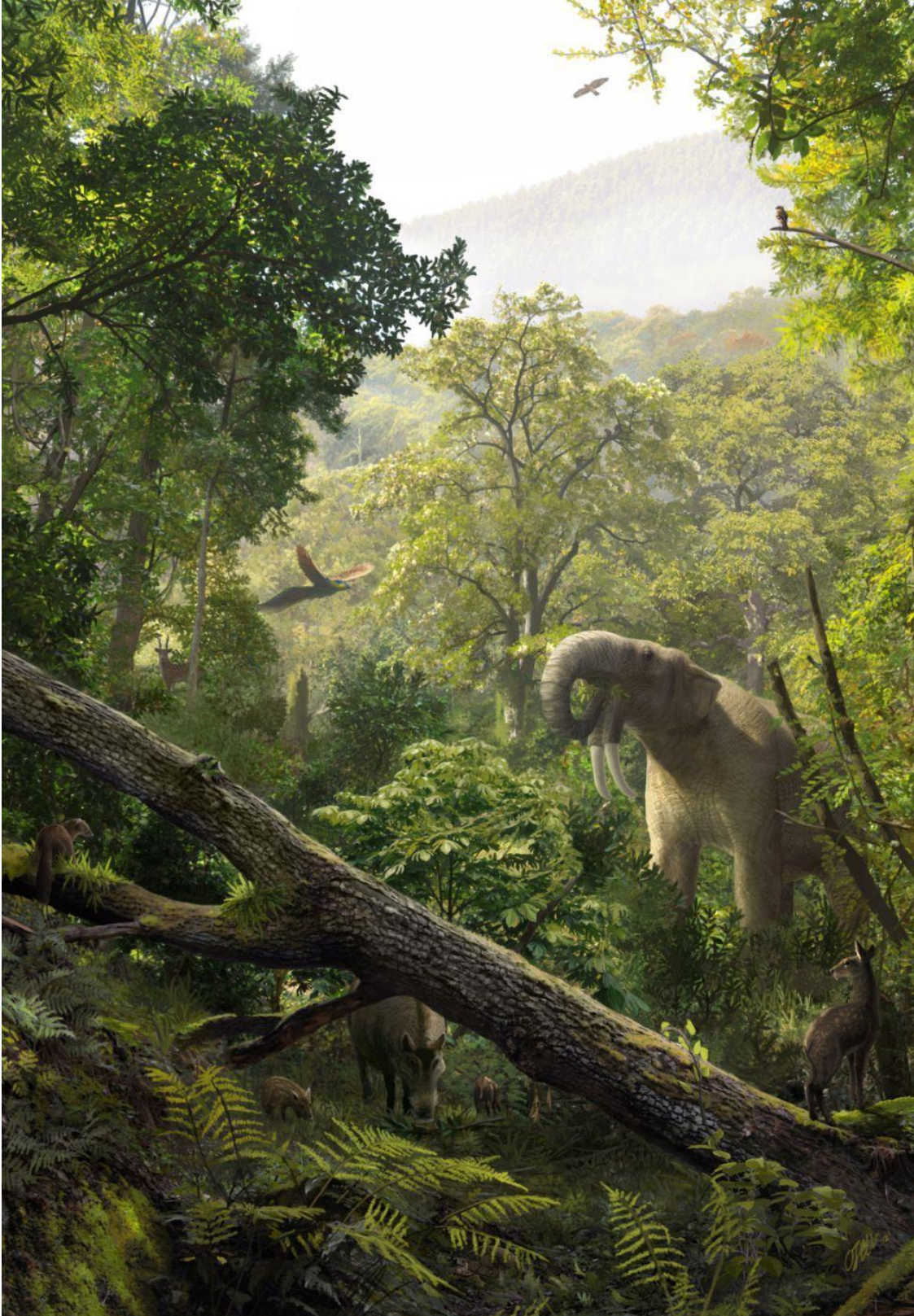
Deodar fák, Himachal Pradesh, India (Cedrus deodara, Himalája cédrus, az örökzöld tűlevelű fa eléri a 40-50 m magasságot)



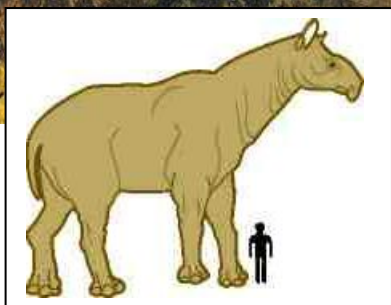
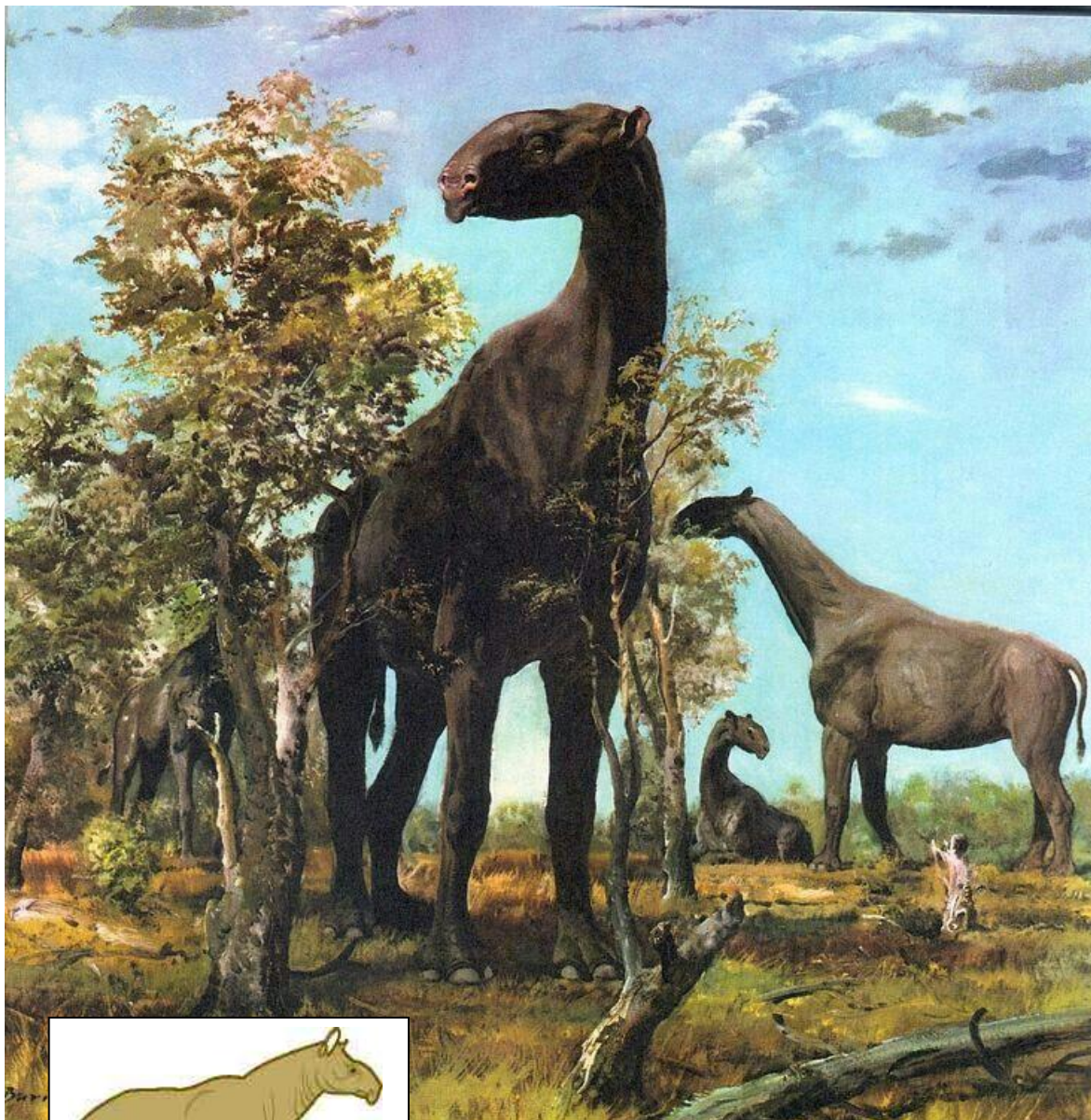
https://wyborcza.pl/1,75400,17215272,Najwieksze_i_najdziwniejsze___wymarle_ssaki.html?disableRedirects=true
 Platybelodon, „łapos agyarfogú” masztodon.



https://dinoanimals.pl/zwierzeta/era-kenozoiczna-neogen/Deinotherium_nembe_tartozó_őselefánt_4_méter_magasra_nőtt.



(illusztráció: Oscar Sanisidro/Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, www.gizmodo.com.au/2015/10/this-extinct-species-is-changing-what-we-know-about-early-ape-evolution/)
Művészi ábrázolása Pliobates környezetéről mintegy 12 millió évvel ezelőtt



(forrás: i.pinimg.com/736x/51/1c/f9/511cf94622b18861536aa77bf8fab9b9.jpg)

A Paraceratherium, régebben Indricotherium vagy Baluchitherium az emlősök (Mammalia) osztályának a páratlanujjú patások (Perissodactyla) rendjébe, ezen belül a Hyracodontidae családjába és az Indricotheriinae alcsaládjába tartozó nem.

A Paraceratherium minden idők egyik legnagyobb szárazföldi emlős állata volt. A felnőtt állatot egy ragadozó sem merte megtámadni.

Az állat testhossza legfeljebb 7,4 méter, marmagassága 4,8 méter és testtömege 17 tonna lehetett.

Tápláléka növényi részek; levelek és ágak. Feltételezik, hogy 80 évig is élhetett.



(forrás: www.msn.com/en-us/travel/adventuretravel/beautiful-natural-waterfalls/ss-BBVxYQJ#image=4)



(forrás: unikwallpaper.blogspot.com/2013/02/50-most-exotic-river-hd-wallpaper-part-2.html)



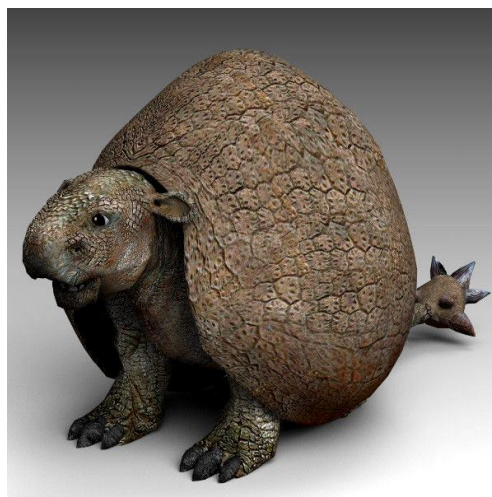
(forrás: www.deviantart.com/rom-u/art/Doedicurus-742224457)



A *Doedicurus clavicaudatus* az emlősök (Mammalia) osztályának a vendégizületesek (Xenarthra) öregrendjébe, ezen belül a glyptodonfélék (Glyptodontidae) családjába tartozó faj.

(www.deviantart.com/sameerprehistorica/art/Doedicurus-Size-816747241 és i.pinimg.com/originals/1d/f8/df/1df8dfdeba8ffd4851e6c068dc79c3ad.jpg)

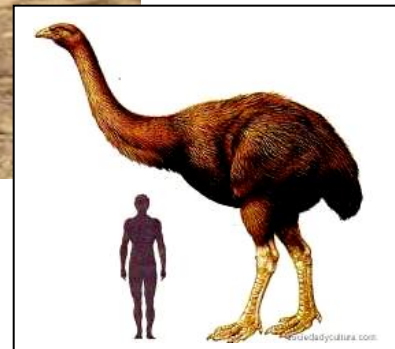
A *Doedicurus* egy óriási növényevő tatu volt, amely a mai Dél-Amerika füves pusztáit népesítette be. Az állat kb. 10 000 évvel ezelőtt pusztult ki. Mérete és tömege megegyezett egy kisebb gépkocsiéval: hossza 4 méter, magassága 1,5 méter, tömege 1910–2370 kilogramm lehetett. Hosszú farka végén egy csontos, tüskékkel rendelkező, buzogányszerű golyó volt. Páncélját összeforrt csontos darabok alkották, csak a végtagok, a fej és a farok mozgott szabadon. A páncél éppen olyan jól védte, mint manapság a teknősöket a teknő, csak nem tudta behúzni a fejét a páncél alá.





(<http://www.listyznaszegosadu.pl/nauka/tam-gdzie-sa-ptaki> és

<http://wiciovlog.blogspot.com/2018/09/mamutak-madagaskarski.html>)



Az elefántmadarak egykor Madagaszkár szigetén élt, hatalmasra nőtt röpképtelen madarak. A madarak osztályában, a struccalakúak (Struthioniformes) rendjén belül az elefántmadár-félék (Aepyornithidae) családját alkották

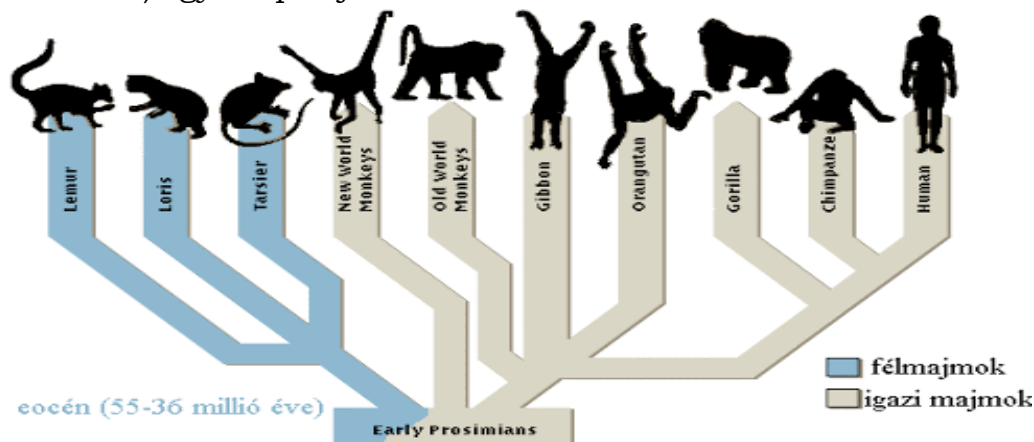
(zwierzetainformacje.pl/mamutak-aepyornis-maximus/)

Az elefántmadarak adták a Földön élt valaha ismert legnagyobb madarakat. Az *Aepyornis maximus* faj magassága elérte a 3 métert, tömege a 350–500 kg-ot. Tojásaik legnagyobb átmérője elérte a 33 cm-t, becsült úrtartalmuk a 9 litert. Minden bizonnyal növényevők voltak.

A röpképtelen óriásmadarak a dinoszauruszok kihalásával indultak gyors fejlődésnek a kainozoikum elején: ekkor a szárazföldeket már nem uralták a hüllők, de még az emlősök sem indultak robbanásszerű fejlődésnek. Így ezen madarak virágkora a harmadidőszak (tercier) volt, ekkor minden kontinensen jelen voltak. Hanyatlásukat a nagy testű, méhlepényes ragadozók megjelenése és elterjedése okozta a negyedidőszakban (kvarter).

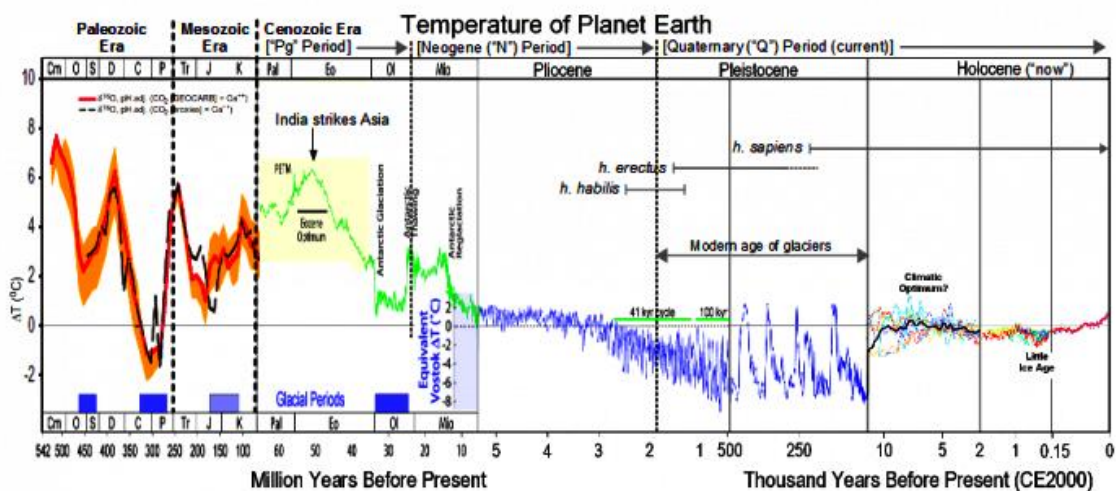
A neogént, de főként ennek **miocén időszakát (23-tól 5 millió évvel ezelőtt)** számos érdekes emlősfaj jellemezte, az ormányosok közé tartozó masztodonok (Trilopodon), valamint a szarvasszerű emlősök (Paleomeryx, Disrocerus), és ekkor fejlődtek ki a lovak is; kicsiny, róka nagyságú, ötujjú őseikből az évmilliók során a harmadidőszak végére egypatájú állatok lettek.

Az ember származása szempontjából azonban a legfontosabb állatcsoport a főemlősök. Mintegy 70 millió évvel ezelőtt fejlődtek ki az ősi rovarévők (Insectivora) egy csoportjából.



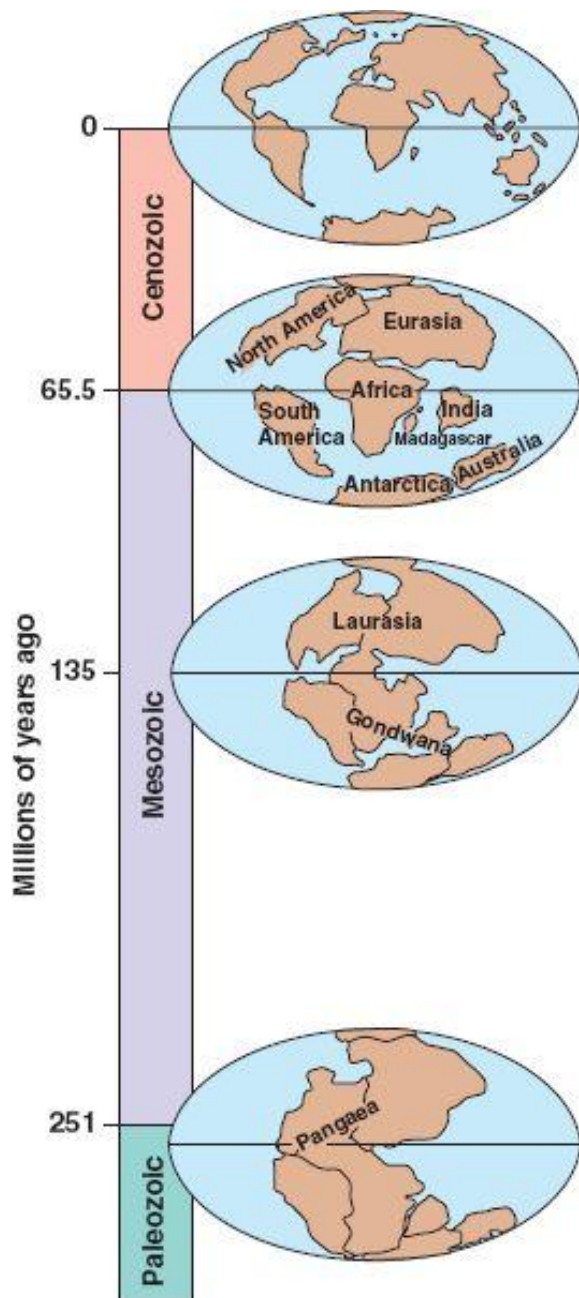
(forrás: <http://termtud.akg.hu/okt/9/afrika/4ember.htm>)

A főemlősök evolúciója meglehetősen gyors iramban haladt előre. Ennek során a valódi majmok két alaktani és földrajzi szempontból egyaránt élesen elkülönült ágra váltak szét, a szélesorrú majmok (Platyrrhinae) és a keskenyorrú majmok. Míg a széles orrú majmok orrnyílásai oldalra nyílnak, addig a keskenyorrú majmoké - akár az emberé - előre. A keskenyorrú majmok közé tartoznak - többek között - az emberszabású majmok (Pongidae), valamint az emberek (Hominidae).



(forrás: americablog.com/2013/05/the-climate-crisis-story-in-three-easy-charts.html, és <https://en.wikipedia.org/wiki/Oligocene>)

Az ember és a majmok közös őstörténete 60-70 millió évre nyúlik vissza
– írja Kardos László „Az emberiség kezdete” című könyvében.



Ekkor még Eurázsia hatalmas területe a mai Skandinávián és Grönlandon keresztül összekapcsolódott Észak- Amerikával.

Egységes északi kontinens volt, ahol az ott élt állatok vándorolhattak egyik helyről a másikra.

A mai Atlanti óceán helyén ekkor még csak egy néhány száz kilométer széles csatorna jelezte a később kialakult hatalmas víztömeg helyét.

Az egységes északi kontinentstől délre hatalmas, a mai Földközi-tenger ősenek tekinthető óceán, a Tethys húzódott, amelyik elválasztotta egymástól az északi félteke kontinensét a délitől, vagyis az akkor összefüggő Afrikától és Dél- Amerikától.

(forrás:
bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch25/drift.html)

A hatalmas termetű őshüllők, a dinoszauruszok már néhány millió éve kipusztultak a Földről, amikor megjelentek a legelső ősmajmocsák, az apró termetű, megnyúlt orrú, mókusra emlékeztető rovarevő állatok, akik még nem a déli, hanem az északi kontinensen éltek.

Az őshüllők korszakát, felváltotta egy új világ, az emlősök kora.

A legelső ősmajmok, főemlősök csontjai már megtalálhatók a 60-70 millió éves kőzetrétegekben, Észak-Amerikában ugyanúgy, mint Európában és Ázsiában.

Az Atlanti-óceán északi medencéje egyre szélesebb lett, s elszakadt egymástól Afrika és Dél- Amerika is. Létrejött a mai állapothoz hasonló ősföldrajzi kép. Az egymástól elszakadt kontinenseken az ottrekedt ősi majmok tovább szaporodtak, s egymástól elkülönülve éltek tovább.

Az afrikai ősmajmok legelső csontleleteire a mai Egyiptom területén az El Fayum mélyföld 30-35 millió éves oligocén rétegeiben bukkantak rá a kutatók. A Nílus már létezett, és az ősi folyam partjai mentén gazdag mocsárvilág alakult ki. Ez a vidék volt a majmok első szálláshelye, ahol 10-15 millió évig éltek.

Az Afrikában élt miocén kori ősmajmok további utódaik évmilliókon keresztül sok ezer kilométeres utat tettek meg egy másik kontinensen, Euráziában.

Az Antarktisz igen lassan, de hatalmas utat vándorolt be. 30-35 millió éve a déli pólus területére csúszott, tolódott, aminek máig ható következménye lett. A szárazföldön a jég tartósan megmaradt, egyre inkább felhalmozódott, s önmagát hűtve egyre inkább terjeszkedett. Megkezdődött a meteorológiai értelemben vett jégkorszak. Hosszú évmilliók után ismét jégsapka borította a Déli-sarkot. Megváltoztak a tengerek áramlásviszonyai, átalakultak az éghajlati övezetek, s velük együtt az ott élt növényzet is.

Az ősmajmok is elhagyták korábbi élőhelyüket, hogy oda vándoroljanak, ahol megélhetésük biztosabb volt. Mindez több tízezer nemzedéken át tartott.

A miocén korszakban a geológusok három olyan időszakot tudtak kimutatni, amikor a két hatalmas kontinens rövid időre, szárazföldi összeköttetésbe került egymással, mindannyiszor Arábián keresztül.

A legkorábbi időpont 18-20 millió évvel ezelőtt volt, amikor inkább Afrikából vándoroltak át az állatok –elsősorban elefántfélék - Európába.

A következő lehetőségre 15 millió évvel ezelőtt volt mód, hogy az ősmajmok átvándoroljanak Euráziába. Arról, hogy valóban megjelentek ott, számos csontlelet tanúskodik. Szinte egy csapásra feltűntek az Dryopithecusok, azaz az erdei majmoknak nevezett, nagyobb testű majmok.



(forrás: alchetron.com/Dryopithecus)

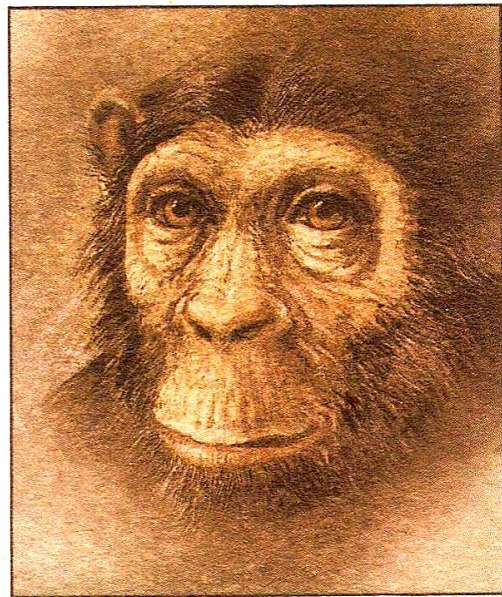
A harmadik átvándorlási alkalom 10-12 millió éve lehetett, amikor érte újabb majominvázio Euráziát. Feltételezzük, mert ebben az időszakban, a korábbiaktól eltérő majmok csontjait ásták ki a paleontológusok.

Európa és Ázsia hatalmas területe befogadta az Afrikából átvándorolt emberszabású ősmajmokat. Spanyolországtól Kínáig sok ezer kilométeres elterjedésüket segítette, hogy megjelenésük idején még csaknem mindenhol trópusi jellegű növényzet volt, sok tóval, tengeröböllel.

Afrika és Európa meg-megújuló gyorsasággal ugyanúgy közeledett egymáshoz, mint ahogy az Indiai-félsziget is egyre szorosabban lapult Ázsiához, miközben a Himalája egyre magasabbra gyűrődött fel. Európában kezdetben (15 millió éve) még létezett egy, a Tethysből kiinduló melléktenger, a Paratethys, amelyik a mai Rhone folyó torkolatától indult, megkerülte északról az Alpokat, és Bécsnél beömlött a Kárpát-medencébe, ahol létrehozta 10 millió évvel ezelőtt a Pannon-tót. Az egymástól elszigetelt élettereken elkülönült majomnépességek éltek mindennapjaikat. A majmok új világot találtak Eurázsiaiban. Megvolt ugyan a továbbélési esélyük, de csak úgy, ha alkalmazkodtak a megváltozott körülményekhez – olvashatjuk Kardos László könyvében.

Az emberré válás szempontjából talán az európai miocén korból származó emberszabású majmok, a Dryopithecusok a legfontosabbak. Ők is az első átvándorlási hullámmal érkezhettek, akárcsak a gibbon (Hylobates) őse, s ugyanazt a területet foglalták el. Már 1820-ban a németországi Eppelsheim közelében ráakadtak egy kihalt emberszabású majom leletre, majd később amikor Franciaország területéről is kerültek elő fossziliák akkor nevezték el Dryopithecusnak.

(forrás: Kardos László: Az emberiség kezdete, Reflektor Kiadó, 1989.)



A Dryopithecus a csimpánz és az ember közös őse, de ahhoz, hogy ezt így kimondhassuk, a magyarországi, rudabányai ősmajomleletek felfedezésére és értékelésére volt szükség.

1967-ben Rudabányán, a vasérctelep lignites fedőrétegében a geológusok ősszállatmaradványok mellett egy „emberszabású” állkapocstörredéket is találtak. Két évvel ezután ugyanerről a helyről egy majdnem teljes állkapocs darabjai kerültek elő. A neve „Rudapithecus hungaricus” lett, kifejezve ezzel, hogy a lelet nem embertől, hanem ősi kihalt emberszabású majomtól (pithecus) származik, valamint azt, hogy az emberré válás történetében ezen igen értékes „láncszem” Magyarország területéről került elő.

Kora 12-10 millió éves, már nem állat, de még nem ember; a majom és majomember között áll, 120-130 cm magasak, a ma élő emberszabású majmokhoz hasonlóan, kezükre támaszkodva járhattak.

A gondolkozástól természetesen még igen távol állt, nemhogy nem készített szerszámot, de feltehetően még csak nem is használt.

A sokrétű anatómiai összehasonlító vizsgálatok azt mutatják, hogy a Rudapithecus beletartozott abba a majomcsaládba, amelyet korábban Dryopithecusnak neveztek el. Különös jelentősége a koponyalelet miatt van.

Ha végiggondoljuk, hogy az emberré válás 30 millió éves történetében koponyára 1967-ig csak a ~30 millió éves Aegyptopithecusnál és a ~18 millió éves Proconsulnál akadtak, akkor a „Rudi” koponyája ebben a sorban a harmadik a világon, a Dryopithecusok között pedig az első!

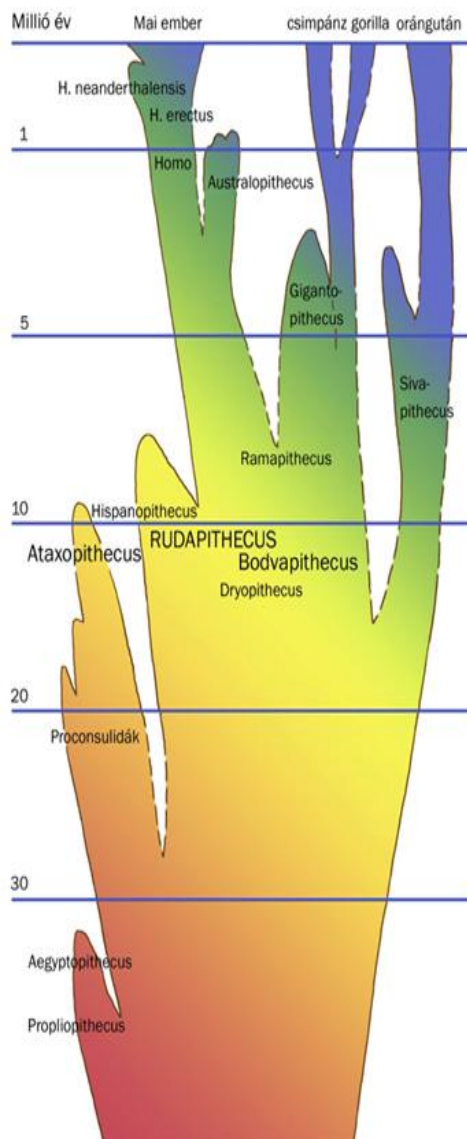
A Rudapithecus és rajta keresztül a Dryopithecusok tehát valójában az utolsó előtti lépcsőfokot jelentik közvetlen múltunk történetében.

Egy új elmélet szerint az ember nem azért emelkedett két lábra, mert egy éghajlatváltozás lekényszerítette a fákról, hanem mert álló testtartásban, két lábon sokkal könnyebb volt járni a meredek afrikai sziklákon - magyarázták a szakemberek az Antiquity (2013. május) szakfolyóiratban megjelent tanulmányukban. Az új elméletet az angliai Yorki Egyetem régészei dolgozták ki. Isabelle Winder régész és csapata a járás anatómiáját és az emberfajtákat körülvevő környezetet tanulmányozta.

Mintegy hatmillió évvel ezelőtt az emberféléket vonzották Kelet- és Dél-Afrika hegyes részei és sziklás hasadéakai, mert bőséges menedéket és nagyobb zsákmányszerzési lehetőségeket kínáltak, mint a szavanna sík területei. Márpedig ez a dimbes-dombos vidék négy lábon nehezen járható – állítja Winder. A kezek, amelyekkel rögzítették magukat vagy felmásztak az akadályokra végül így váltak alkalmasakká a tárgyak megragadására - állítják a kutatók.

Az Australopithecus testén egyszerre tapasztalhatóak hegymászásra és állva, két lábon járásra utaló jelek – írta publikációjában Isabelle Winder. Egy későbbi szakaszban az emberféléknek kellőképpen szabad lett a kezük ahhoz, hogy fokozott kézügyesség alakuljon ki, és kifejlesszék a szerszámok használatát. Csak azután módosult a proto-humán fajok csontváza és lábának szerkezete, amikor új zsákmányok és élőhelyek után kutatva a környező síkságokra merészkedtek. A változatos terep a kognitív képességek – mint a térbeli orientáció és kommunikációs képességek – javulásához is hozzájárult, ami megmagyarázná az emberi agy és az olyan szociális funkciók szüntelen evolúcióját, mint az együttműködés és a csapatmunka – tette hozzá Winder.

Az emberfélék vagy hominidák (Hominidae) a főemlősök egyik családja, amelynek ma élő tagjai egyrészt az emberi nem (Homo), másrészt a csimpánz (Pan), a gorilla (Gorilla) és az orangután (Pongo).



A hominidák (Hominidae) családjába korábban csak a mai embert (Homo sapiens) és a Homo nem kihalt fajait, a Homo habilis-t, Homo erectus-t, a heidelbergi embert (Homo heidelbergensis), Homo rhodesiensis-t és neandervölgyi embert (Homo neandertalensis), illetve az emberi nem közvetlen elődeit, az Australopithecina csoportot sorolták. A „nagy emberszabású majmok” három nemét korábban Pongidae néven különálló családnak tekintették.

Mára azonban a legkorszerűbb genetikai alapú osztályozás alapján az embert, a csimpánzt (*Pan troglodytes*), a bonobót (*Pan paniscus*), a gorillát és az orangután (Pongo) egymáshoz sokkal közelebb állóknak tekintik, mint korábban, és ezért egységes rendszertani családban tárgyalják őket.

A hominidák (Hominidae) korábbi felfogásának (csak az ember és elődei) a legújabb rendszerezés szerint a Hominina öregnem felel meg.

(forrás: www.ace.hu/rudi/rudhu.html, és www.ace.hu/rudi/torzsfajpg)

A gorilla, a bonobó és a csimpánz alkotják a Homininae alcsalád ma élő fajait, míg a Ponginae alcsaládba ma az orangutánok fajai tartoznak. A család harmadik tagját a kihalt Dryopithecinae alcsalád képviseli. Ide tartozik például a rudabányai leleteiből is ismert ősmajom, a Dryopithecus brancoi.

A Homininae alcsaládot további két nemzetségre osztják: a Hominini nemzetség az emberi nemet, az előembereket és a csimpánzfajokat, míg a Gorillini nemzetség a gorilla fajait foglalja magában.

A Hominini nemzetséget tovább csoportosítják Hominina (előemberek és az ember), valamint Panina (csimpánzok) öregnemekre.

Negyedidőszak (2,58 – 0 millió évvel ezelőtt) kvarter , az újkornak a kainozoikum földtörténeti idő legkésőbbi időszaka, Az időszakot két korra tagolják, ezek közül az első a **pleisztocén**, 2,58 millió évvel ezelőtt kezdődött, s 11 700 éve ért véget, ezt követi a **holocén**, 11 700 évtől napjainkban is tart. Ez utóbbit „az ember korának” is nevezik.



(forrás: <https://1.bp.blogspot.com/-1oIM5yrJWvg/Wpwc2TD227I/AAAAAAAAADDc/vjtWPGfJ-1AUubhCXeqIfjENAAxfwsIwQCLcBGAs/s640/vizalatti-terulet.jpg>)

Az éghajlat a neogén idején valamelyest lehűlt és ez a folyamata a negyedidőszak kontinentális eljegesedésében csúcsosodott ki.

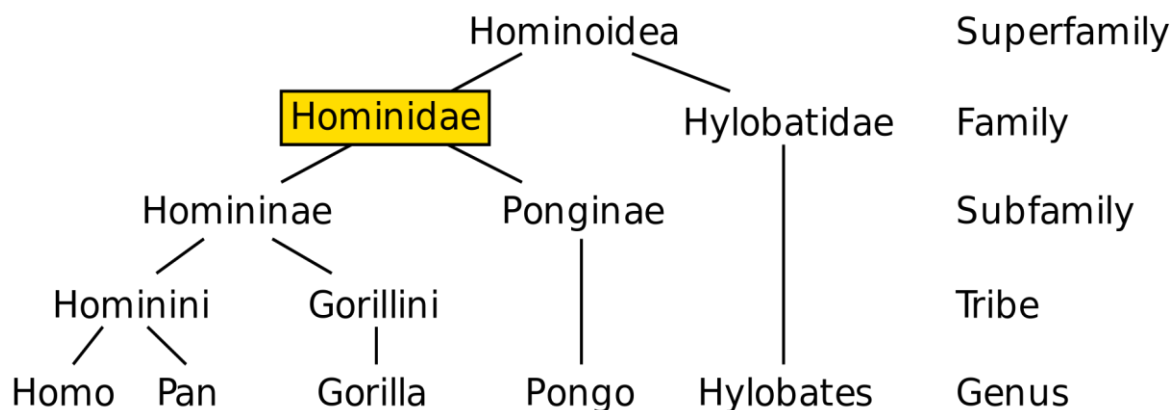


(forrás: commons.wikimedia.org/wiki/File:Ice_age_fauna_of_northern_Spain_-_Mauricio_Antón.jpg)

A pleisztocénben, gyapjas mamutokkal, barlangi oroszlánokkal, tarpánokkal és gyapjas orrszarvúval

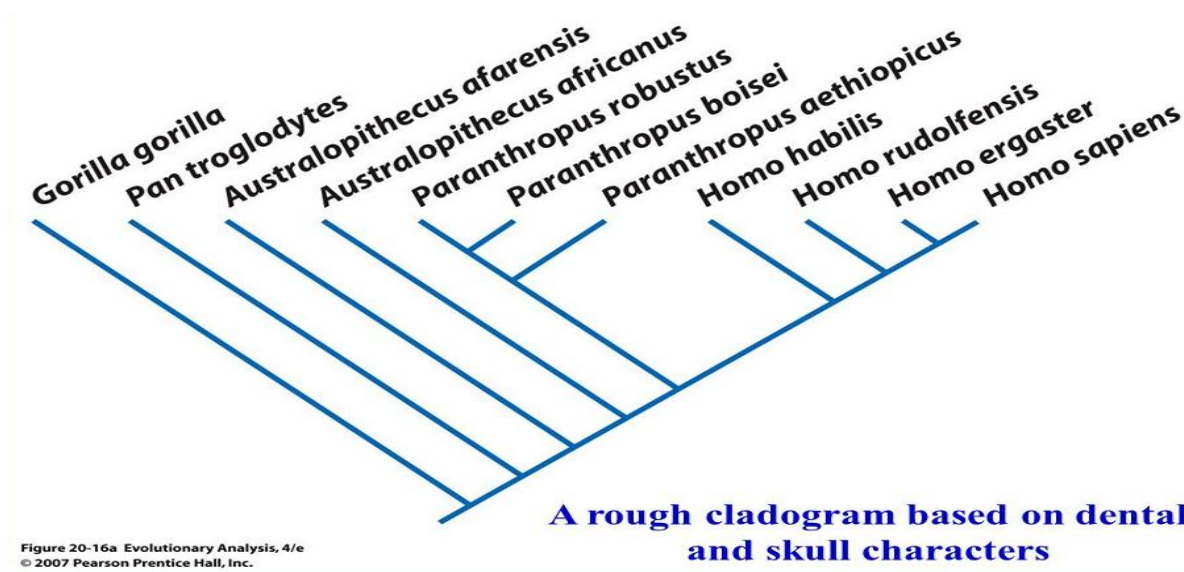
A legősibb hominidára utaló lelet a 2002-ben Csádban felfedezett 6-7 millió éves fosszilis csontváz, amit felfedezői Toumaïnak nevezték el. Habár Toumaï 3-4 millió évvel idősebb, mint Lucy (*Australopithecus afarensis*), arca viszonylag lapos. Egyes kutatók szerint ez a korábban ismert faj a mai ember egyenes ági őse lehet, vagy ennek egy közeli rokona. Mások szerint ez az egy lelet nem elég ahhoz, hogy miatta megbolygassuk az antropológia elméletének több, mint száz év alatt kialakult rendszerét. A leletről szóló cikket a Nature 2002. július 11-én jelentette meg.

Míg egyes tudósok az állítják, hogy ez egy gorilla koponyája, addig mások jelentőségét az *australopithecusok*éhoz hasonlítják.



(en.wikipedia.org/wiki/Human_evolution#/media/File:Hominidae_chart.svg)

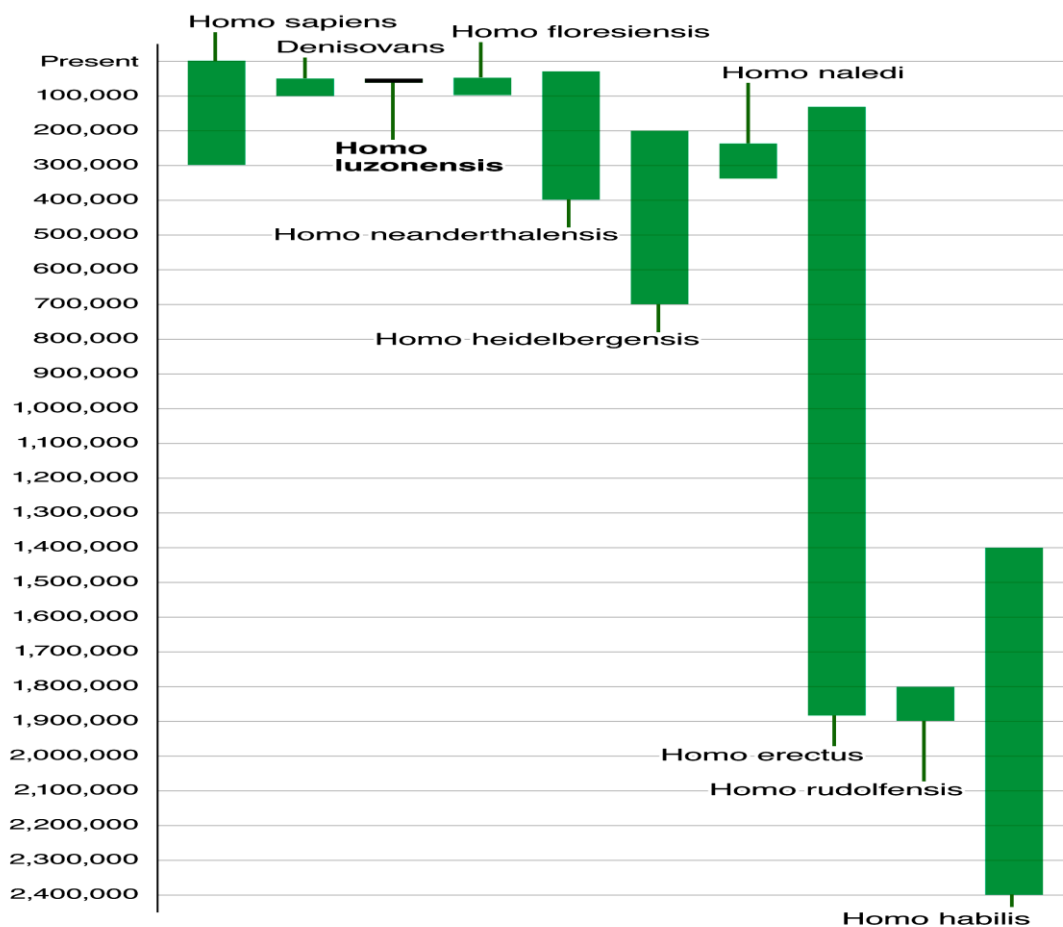
Nincsenek tisztázva az emberfélékhez tartozás pontos kritériumai, de a család általában olyan fajokat foglal magába, melyek DNS-e legalább 97%-ban egyezik a modern emberével, közösségeikben egyszerű kultúrát tartanak fenn, fejlett kommunikációs rendszerrel, nyelvel.



(forrás: slideplayer.com/slide/9550438/)

Human evolution

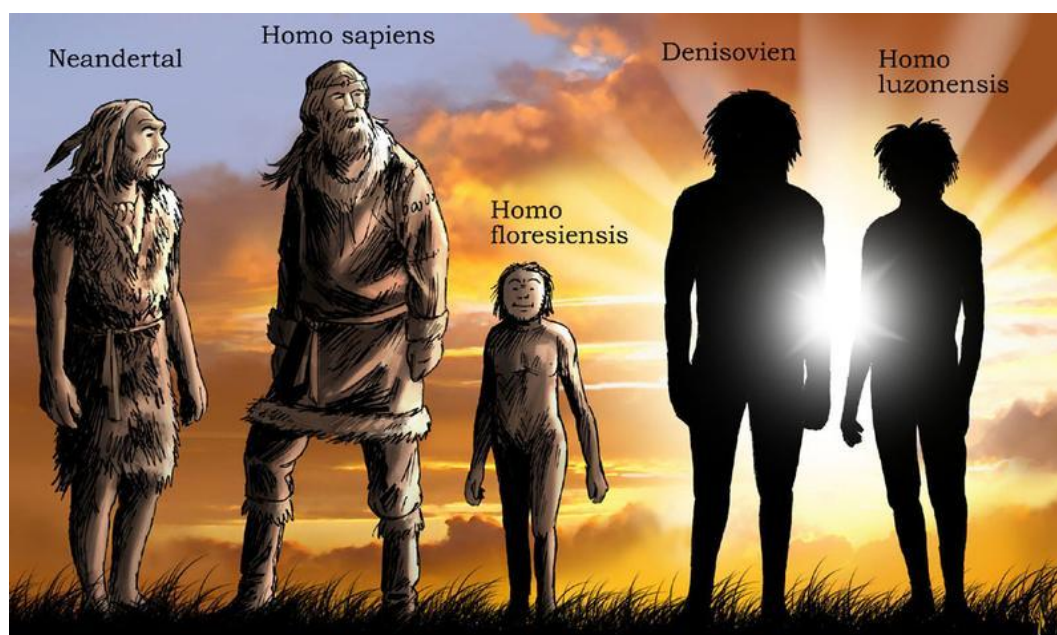
Where *Homo luzonensis* sits in the human family tree



Source: Smithsonian Institution

BBC

(forrás: www.bbc.com/news/science-environment-47873072)



www.laterredufutur.com/accueil/homo-luzonensis-une-nouvelle-espece-humaine/especes-humaines/



(illusztráció: Josef Wolf-Zdeněk Burian: Az őskori ember, Gondolat, 1981)



(forrás: saját gyűjteményből)



Csont-és kőszerszámok, nyílhegyek és pengék kovakőből és obszidiánból, ütő eszköz állkapocs csontból.



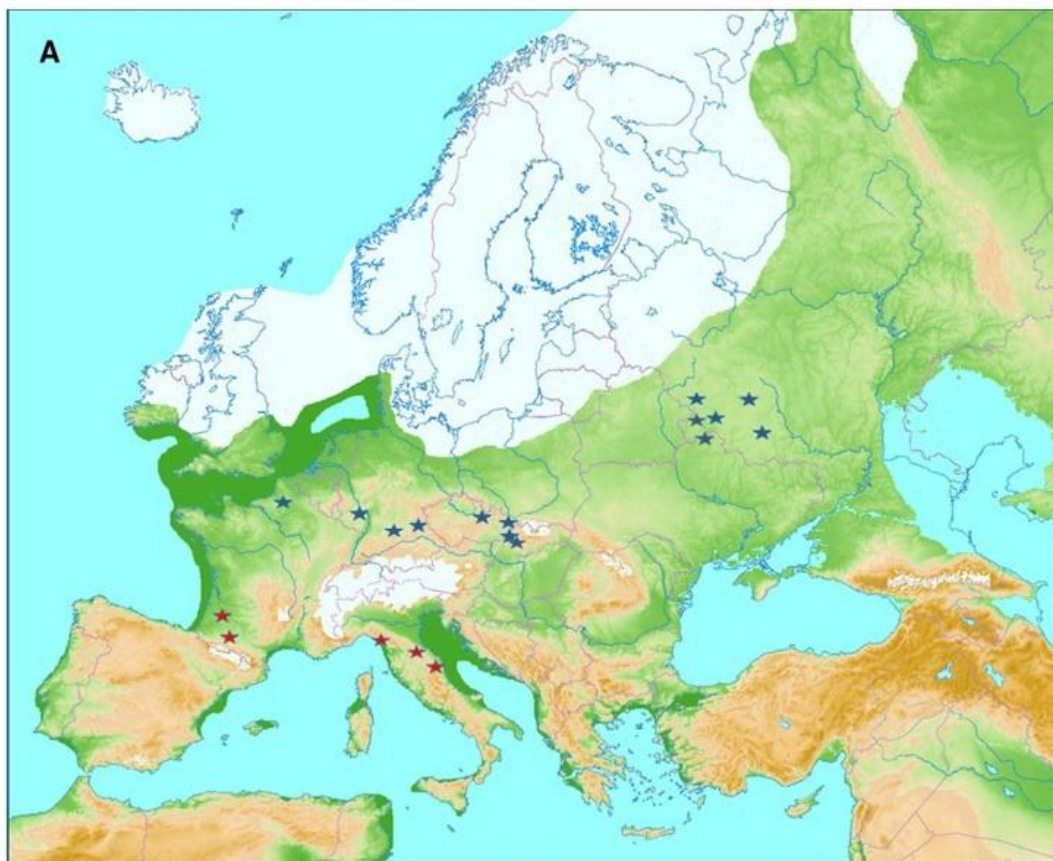
(illusztráció forrása: magnarock.com/academy/history/1)



(japanese-archaeobotany.blogspot.com/2013/08/frozen-mammoth.html)

A Coloradói Egyetem kutatói (University of Colorado Anschutz Medical Campus) szerint a környezet és a klíma változását tükrözik az erősen elhízott, esetleg várandós nőalakokat ábrázoló Vénusz-figurák, amelyek 38-14 ezer évvel ezelőtt egész Európában elterjedtek voltak.

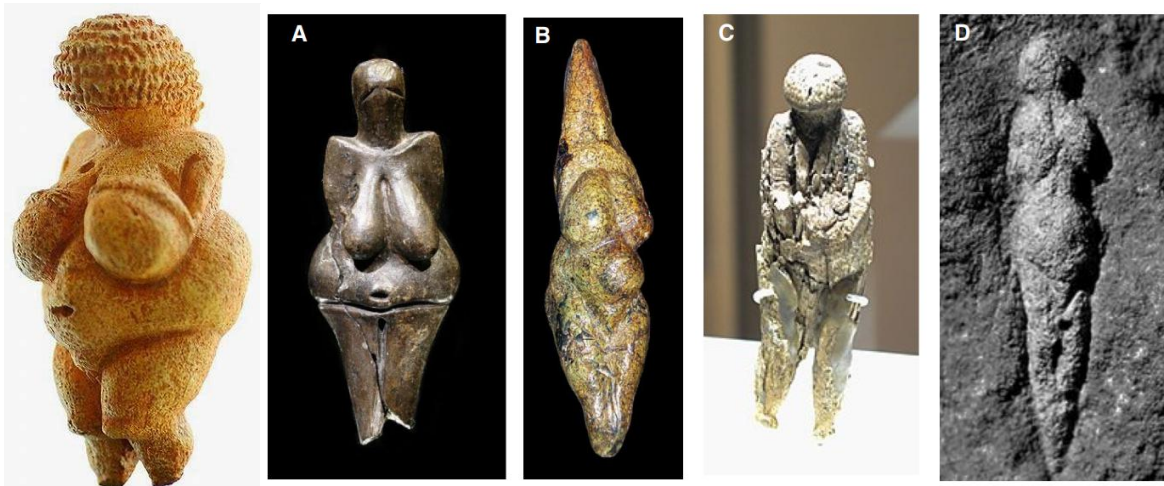
Amikor a modern emberek Európába érkeztek kb. 48 ezer évvel ezelőtt, viszonylag meleg periódus volt, a gleccserek visszahúzódtak, kedvezően alakultak a körülmények. Azonban kb. 10 ezer év elteltével, 38 ezer éve újból növekedésnek indult a jégtakaró, egyre zordabbá vált a klíma, az utolsó nagy eljegesedés kezdődött meg, amelynek csúcs-hidege 22 ezer éve volt. A téli hőmérsékletek $-10 / -15$ °C körüli értékre hűltek Európa délebbi felén is, és a vadászszákmány egyre kisebb testű állatokból (pl. nyúl, mormota, madarak) állt. A drámai környezetváltozás az embereket érintően is hasonló változással is járt: a 33 ezer évvel ezelőtti népesség harmadára csökkent mire a legnagyobb kiterjedését felvette a jégtakaró, s az emberek átlagmagassága is 8-10 centivel csökkent, és a fogzománc, a korábbi 16% helyett 29%-ban az alultápláltság jeleit hordozta.



(forrás: Richard J. Johnson et al. Upper Paleolithic Figurines Showing Women with Obesity may Represent Survival Symbols of Climatic Change. Obesity, published online December 1, 2020; doi: 10.1002/oby.23028, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/oby.23028>, és www.sci-news.com/archaeology/venus-figurines-09113.html)

A kutatók azt vizsgálták meg, hogy abban a 24 ezer éves periódusban, amikor e figurák készültek, vajon az eljegesedés változó mértékét tükrözte-e a figurák elhízásának mértéke, s azt, hogy az egyes figurák milyen távolságban voltak a korabeli jégtakaró peremétől. Az volt a feltételezésük, hogy minél közelebb éltek a figura készítői a jég pereméhez, s minél nagyobb hideg uralkodott egy adott időpontban, a figurák annál kövérebbek voltak.

Johnson és társszerzői, John Fox antropológia professzora az Egyesült Arab Emírségekben, az Amerikai Sharjah Egyetem PhD-je és Miguel Lanaspaga-Garcia, PhD docens, a CU School of Medicine-től, megmérték a szobrok derék-csípő és derék-váll arányát. Felfedezték, hogy a gleccserek közelében találtak voltak a legelhízottabbak a távolabbiakhoz képest. Úgy vélik, hogy a figurák idealizált testtípust képviseltek ezekhez a nehéz életkörülményekhez.



(www.sci-news.com/archaeology/venus-figurines-091113.html, és <https://scitechdaily.com/humanitys-oldest-sculptures-researchers-new-theory-on-venus-figurines-may-have-solved-mystery/>)

A mérések igazolták az elképzelést: minél távolabbi volt a jég határától a figura, annál kevésbé volt elhízott, és minél zordabb klímájú időszakban készült, annál kövérebb volt. Amint a jég elkezdett visszahúzódni s elkezdett melegedni a klíma, a figurák is kevésbé gömbölyded formát öltöttek, különösen Európa délebbi részén.)

A valószínűleg mágikus erejűnek tekintett figurák családi örökség részét képezhették. Az ilyen nőalak azt a vágyott ideált testesítette meg. A figurát a fiatal nők azért tarthatták maguknál, hogy ez segítse elő, hogy ők maguk felszedjenek pár kilót, ami aztán a zord, éhínségben töltött hónapok alatt a túlélést, az egészségesebb anya és egészségesebb csecsemő reményét biztosította.

László Józsa magyar kutató száz felső paleolitikumi (45 000-40 000-10 000 éves) szobor fényképét vagy másolata tanulmányozta. A 97 női bálványból 24 sovány (főleg fiatal nők), 15 normál súlyú volt, míg több mint felük (51) túlsúlyos vagy nagyon elhízott nőt képviselt, akiknek a mellük is rendkívül nagy méretű.

A figurális elemzés különböző típusú elhízást tárt fel. Fokozott zsírszövet lerakódása a következő testrészekben látható: has csak 2 Vénusz figurában, hasban + csípőben 10, has + gluteális + csípő 14, has + csípő + gluteális + femora 24 és diffúz elhízás 1. Steatopygia (a görög „Steato” zsír, és „pygia” fenék) túlzott zsír a fenék volt megfigyelhető 7 bálványon, bár ezek a nők nem voltak különösebben túlsúlyosak, és meglehetősen vékony derékkal és lábakkal voltak. Csak hét szobor volt előrehaladott terhes állapotban.

Ilyen kisszámú a terhes szobrocska megkérdőjelezi a Vénusz bálványokkal kapcsolatos általános nézetet, mely szerint női termékenységet képviselnek.



(forrás: László Józsa (Országos Traumatológiai Intézet Patológiai Osztálya, Budapest): Obesity in the Paleolithic Era (Elhízás a paleolit korban), July 2011, Hormones (Athens, Greece) 10(3):241-4, DOI: 10.14310/horm.2002.1315, https://www.researchgate.net/publication/51718948_Obesity_in_the_Paleolithic_Era, és link.springer.com/content/pdf/10.14310/horm.2002.1315.pdf)

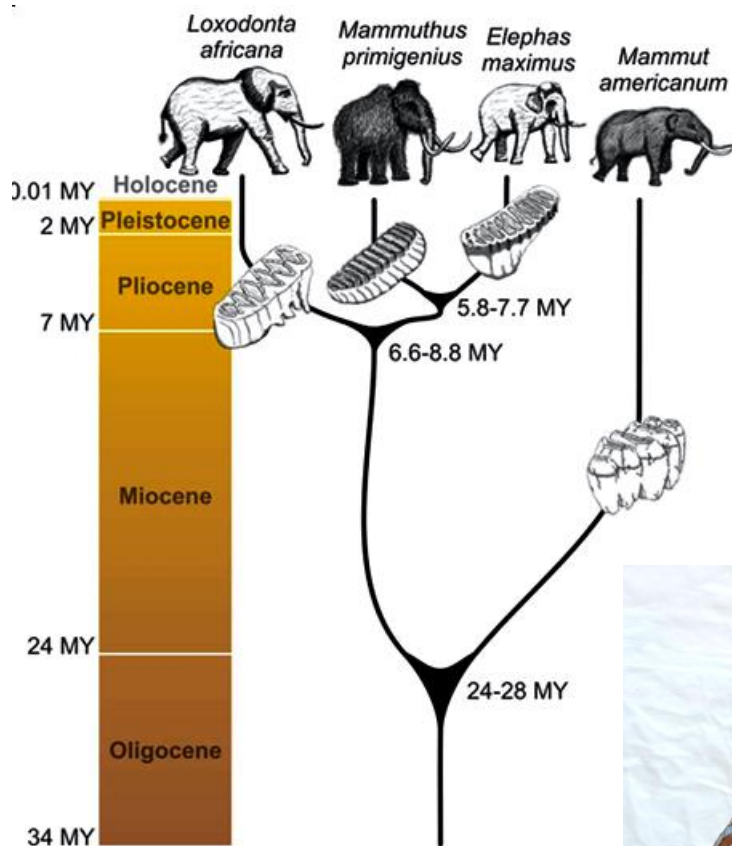
A Willendorfi Vénusz (Ausztria). Mészkö, 23.000-21.000 éves bálvány 65 mm magas, míg a has kerülete 102 mm. A Çatalhöyük szobrocska (Törökország). Mészkö, 5,8 cm 22.000-20.000 éves, diffúz zsír látható a bálványon.



(forrás: fotó: Ruben Earth / Getty Images,
www.thoughtco.com/antarctica-whats-beneath-the-ice-1441243)



(forrás: www.pinterest.co.uk/pin/772156298582490038/)



(forrás:

<http://donsmaps.com/images23/probosclineage.jpg>, és

www.researchgate.net/figure/Phylogeny-and-Divergence-Times-Determined-by-This-Study-for-the-Four-Proboscidean-Species_fig5_6162340)



Mamut fog.

Felső-pleisztocén korból,
kora: kb. 100 ezer év,
lelőhely: Bugyi-Kavicsbánya,
Magyarország,

(forrás: saját fosszilia gyűjteményből)



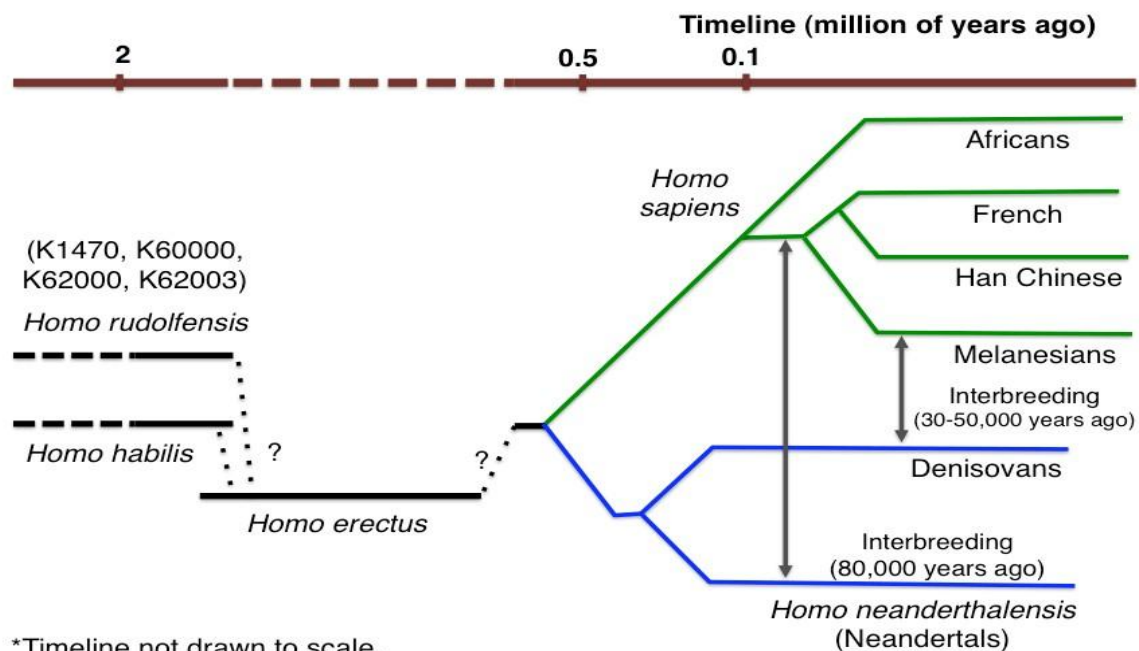
(www.tanmizhi.com/html/7259.html, és
www.pinterest.fr/pin/11610911515887356/)

Mamut
rekonstrukciója,
Diorámaként a
Royal British
Columbia
Múzeumban,
Victoria, Kanada.

A többközpontú (multiregionális) elmélet szerint az afrikai, közel-keleti és távol-keleti *Homo erectus* populációkból közel egy időben, helyben fejlődött ki a *Homo sapiens*, és ezekből a helyi *Homo sapiens* populációkból fejlődtek ki az egyes mai emberfajták. Az elmélet szerint a neandervölgyi emberek lennének az itt élő *Homo sapiens* populációk közvetlen elődei.

Populációgenetikusok azonban vitatták ezt az elképzelést, mivel hosszú időn keresztül jelentős génáramlást feltételez az egymástól nagy távolságra levő központok között, hogy az evolúciós változások „eredménye” mindenhol a modern ember legyen. Az utóbbi évek molekuláris biológiai vizsgálatai végleg megcáfolták ezt az elméletet.

Ezt a modellt szokták még „Afrikai kiindulás”-nak nevezni, amely szerint a modern *Homo sapiens* Afrikában, valahol a Szaharától délre eső területeken alakult ki és innen kivándorolva népesítette be a többi földrészt, felváltva az ott élő *Homo erectus* illetve neandervölgyi populációkat. A régészeti leletanyag, de különösen az utóbbi években Spencer Wells populációgenetikus által vezetett Human Genom Project keretén belül végzett vizsgálatok (mitokondriális DNS és Y kromoszóma vizsgálatok) egyértelműen megerősítették ezt az elméletet: vagyis a modern ember Afrikából kiindulva, a Közel-Kelet felől hódította meg Európát ill. Ázsiát.



*Timeline not drawn to scale.

**Not all lineages in the hominid family tree were shown for the sake of clarity.

(forrás: sitn.hms.harvard.edu/flash/2012/issue132a/)

A *Homo erectus*-szal egyidőben más emberfélék is éltek Afrikában. A korai *Homo erectus* huzamosabb ideig együtt élhetett legalább két *Australopithecus*-fajjal, ezek a még számos majomszerű vonást viselő, de már két lábon járó *Australopithecus robustus* és *Australopithecus boiesi* („majomemberek”). Ez a két faj kb. egymillió évvel ezelőtt kihalt.

Az emberi faj genetikai állományának változatosságát vizsgáló program keretében új térképek készültek a Homo sapiens elterjedéséről. Az eredmények megerősítik az ember eredetére és az afrikai „bölcsőből” való kirajzásra vonatkozó legelfogadottabb elméleteket.

A Human Genome Diversity Project munkatársai számos különböző embercsoport genetikai állományában azonosított eltérések összehasonlító elemzését végezték el. Több mint ötszázezer ún. polimorf szekvenciát „fésültek át” az öt kontinensről származó, összesen négyszáznyolcvanöt ember DNS-mintájában, és a korábbi tanulmányoknál mintegy százszor részletesebb képet alkottak az ember genetikai sokféleségéről. Az eredmények alapján egy térkép készült, amely az ember genetikai változatosságát jellemezi.

A térkép egy sor, az ember eredetére, majd későbbi vándorlására irányuló feltevést igazol. Megerősítést nyert például, hogy a különböző populációk genetikai változatossága csökken az Afrikától való távolság növekedtével: az afrikaiak rendelkeznek a genetikailag „legszínesebb” DNS-állománnyal, őket követik a közép-kelet-európaiak, majd az ázsiaiak és nyugat-európaiak, végül az amerikai őslakosság genomja adódott a legkevésbé változatosnak. A kutatás eredményeként kapott szekvenciákat feltöltötték nyilvános adatbázisokba is.

Az afrikaiak genetikai összetettsége alátámasztja, a másik elméletet, hogy a modern ember (Homo sapiens) néhány százezer évvel ezelőtt valahol Kelet-Afrikában alakulhatott ki, és magyarázatot ad az úgynevezett alapító elv elméletére is. Eszerint az emberi faj fokozatosan, lépésről lépésre népesítette be a Földet. Mikor körülbelül százezer évvel ezelőtt Afrikát elhagyván ősünk elértek egy adott területet, a többség helyben maradt, és csak bizonyos csoportok indultak tovább. Ezek a csoportok lettek később az új populációk alapítói, így ők a későbbiekben már csak egy részhalmazát hordozták annak a genetikai sokszínűségnek, amelyet elődeiktől örökölték. A lassan kialakuló modern társadalmakban egyre könnyebbé válhatott a környezethez való alkalmazkodás, s az ember megtanulta kijátszani a természetes szelekció (kiválasztódás) hatását is, ami szintén hozzájárulhatott a genetikai változatosság csökkenéséhez.

A kutatók nagyfokú genetikai hasonlóságot tártak fel az amerikai őslakosok és oroszok, valamint jakutok között. Ez alátámasztja azt a hipotézist, mely szerint az amerikai őslakosok a több tízezer éve szárazra kerülő, Észak-Amerika és Eurázsia között megnyíló földhídon keresztül jutottak át Észak-Amerikába (A földhidat az utolsó jégkorszak végén, körülbelül tízezer évvel ezelőtt ismét elárasztotta a tenger).

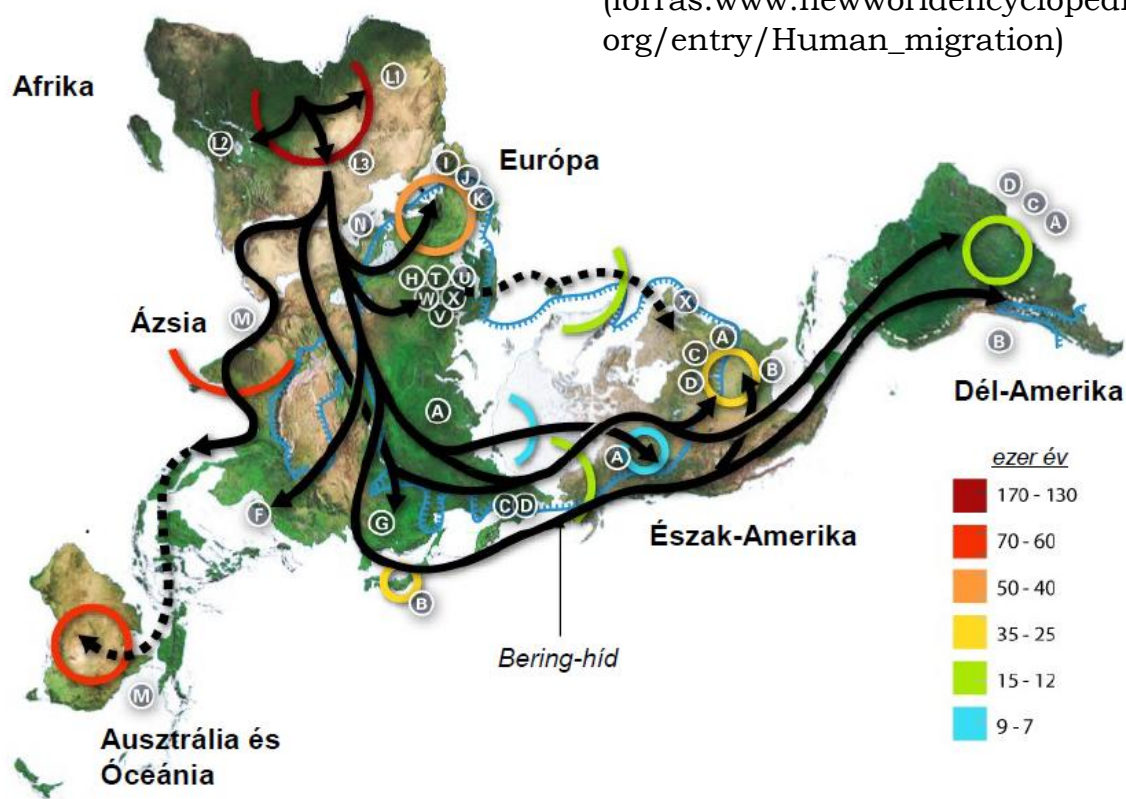
Az ember örökítőanyagbeli változatosságának sematikus, földrészekre vetített térképe, ahol a különböző színek az egymástól eltérőnek talált genetikai típusokat jelölik az egyes populációkon belül.

Az ábra jól szemlélteti az afrikaiak nagyobb mértékű genetikai sokféleségét.

A térképre tekintve látható, hogy Afrika területe sokkal tagoltabb a színekkel, mint a képen ábrázolt egyéb területek. Ez azt jelzi, hogy az Afrikában élő populációk genetikailag sokkal összetettebbek. Az is megfigyelhető továbbá, hogy egy-egy színes csík hossza (függőlegesen) Afrikában általában rövidebb, mint máshol. Ez arra utal, hogy egy afrikai ember örökítőanyaga nagyobb valószínűséggel hordoz eltérő géntípust az adott gényhelyen, mint egy, a bolygó más pontjáról származó ember.



(forrás: www.newworldencyclopedia.org/entry/Human_migration)



(forrás: www.newworldencyclopedia.org/entry/Human_migration, és isogg.org/wiki/Mitochondrial_DNA_haplogroup,)

A Homo sapiens sapiens, „modern ember” elterjedése a földön

Homo sapiens a modern ember, az eddigi legősibb maradványai kerültek elő Etiópiában. A szakértők minden idők egyik legjelentősebb felfedezésének minősítették a 160 000 éves leletet - tájékozódhattunk a Nature folyóiratból. A jó állapotban megmaradt felnőttkoponya és a részleges megtartású gyerekkoponya kora 154 és 160 ezer év közé tehető. Az etiópiai Afar-régió Hertó nevű falva mellett kiásott lelet ezzel remekül illeszkedik a legújabb genetikai vizsgálatok eredményeihez, amelyek szerint a Homo sapiens ebben az időszakban és ezen a területen jelent meg az ember evolúciója során. A lelet alapvető jelentőségű abból a szempontból, hogy betölti a korábbi, mintegy 300 ezer éve felbukkant Homo erectus-Homo sapiens átmeneti formák és a teljesen modern, mintegy 100 ezer évvel ezelőttől ismert Homo sapiens közötti rést. A koponyák ennek megfelelően nem teljesen azonosak a ma élő emberekével: kissé nagyobbak, hosszúkásabbak, és a szemöldökeresz is hangsúlyosabb.

Ennek alapján a felfedezők a Homo sapiens idaltu nevet javasolják, hogy rendszertani szempontból is megkülönböztessék a mai embertől (Homo sapiens sapiens). Az „idaltu” szó a helyi afrikai nyelven „öreget” jelent. „Valószínűleg az anatómiailag modern ember közvetlen őseit képviselték. Anatómiájuk és antikvitásuk szilárd bizonyítékként szolgálnak, hogy a modern ember Afrikában bukkant fel” - írja Tim White a Berkley kutatója a Nature hasábjain (2003. június). A koponyák legérdekesebb jellegzetessége a szándékos és ismétlődő vágás nyomok mintázata, valamint a kifényesítése arra utal, hogy rituális magatartásról lehetett szó, ami a komplex gondolkozásra utal.



Homo sapiens idaltu
Rekonstrukció a koponya alapján.

(www.newscientist.com/article/dn3814-dawn-of-human-race-uncovered/)

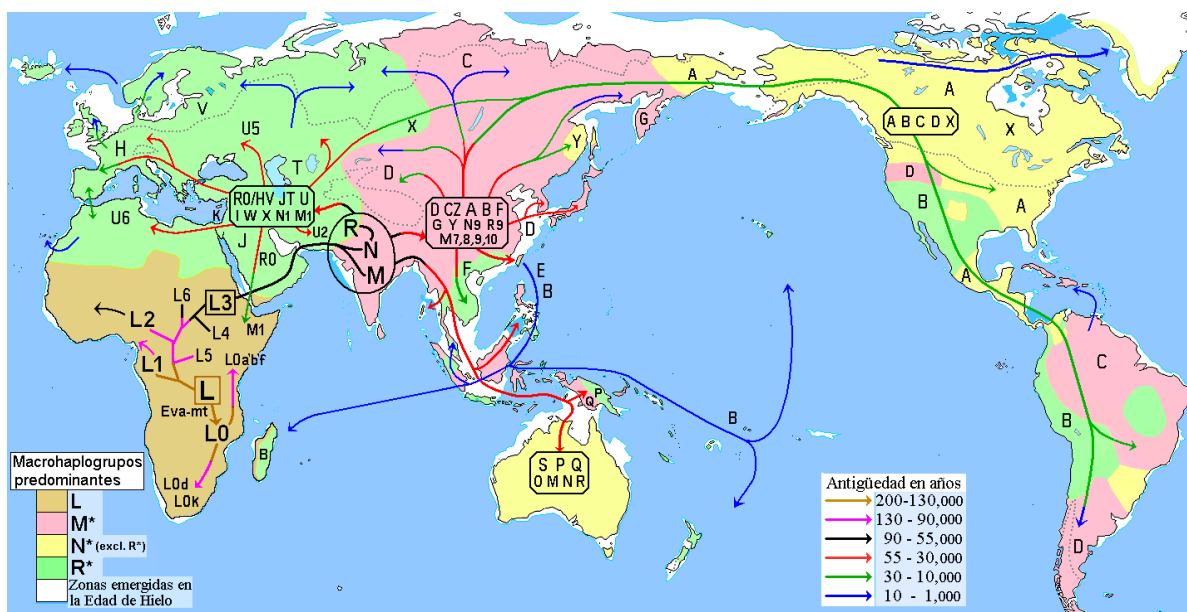
Ez a kutatási eredmény is a második elméletet támasztja alá, mely a Homo sapiens egységes afrikai eredete mellett foglal állást („Out of Africa”hipotézis). Bizonyossá vált, hogy az anatómiai szempontból modern ember jóval korábban megjelent, Afrikában mint ahogy a Neander-völgyi eltűnt Euráziából. Eszerint fajunk minden ma élő egyede egy olyan embercsoportra vezethető vissza, amely valamikor az utolsó 200 000 év során bukkant fel Afrikában, s innen kiindulva hódította meg a világot, lecserélve a helyi emberféléket, így a Neander-völgyieket is. Kőeszközeik már igen változatosak, többféle munkára is alkalmasnak voltak, segítségükkel elejthették és feldolgozhatták a nagyemlősállatokat is.

Ha a népesség annyira lecsökken, hogy csak egy szűk családból kerül ki az emberi genom, akkor azt „genetic bottleneck”-nek (palacknyak) nevezzük. A palacknyak után a kisebb népesség szexuális úton továbbadhatja génjeit, és amint a környezet megfelelő lesz számukra kirajzanak a rendelkezésükre álló „üres” területekre. Így a területeket betölti a szűk család, amely mutációit az újonnan elfoglalt földterület környezete szelektálja.

Az emberi gének egy kicsiny hányada nem a sejtmagban, hanem a sejtek energia előállításáért és annak raktározásáért felelős mitokondriumokban található. Ezt a DNS-t csak anyai ágon örököljük. Őseink összes generációjában tehát csak egyetlen nő volt, akitől a mitokondriális géneket örökölhettük.

Nyilvánvalóan lennie kellett egy olyan „mitokondriális ősanának”, akinek mitokondriális génjeire visszavezethetők az összes ma élő ember mitokondriális génjei. Egy nő, aki a kizárólag női leszármazási vonalak mentén valamennyi ma élő ember utolsó közös őse. Természetesen a mitokondriális géneket ő is anyjától, anyai nagynyjától stb. örökölte. Az időben legutolsó olyan nőt, akitől valamennyi ma élő ember kizárólag női ágak mentén származik, "mitokondriális Évának" nevezik.

Természetesen nem úgy kell gondolni, hogy csak Ő volt az egyetlen nő a Földön. Az emberi történelem őskorában számos emberszabású élőlény népesítette be Afrika földjét, talán még Ázsia nyugati felét, valamint Európa déli részét.



(forrás: pangea.blog.hu/2018/12/19/mitokondrialis_eva)

A Föld benépesítésének főbb irányai mitokondriális és Y-kromoszómamarkerek alapján (Raskó I. 2006)

A régmúlt időkben több esetben is néhány száz főre csökkent a népességszám, és ezért csak a mitokondriális Éva vérvonala az egyetlen, amely napjainkig fennmaradt. A többi ősember leszármazottai vagy kihaltak, vagy nem született leány utód, aki tovább adhatta volna a nő ági mitokondriális DNS-t.

A Rice Egyetem kutatói Éva korát 200 000 évben állapítja meg, a kognitív képességek kifejlődése miatt (agy növekedése, a láb és kéz fejlődése, amely eszközöket formált ki), továbbá az anatómiai modern ember színrelépése miatt. A kivándorlás körülbelül 70 ezer évvel ezelőtt kezdődhetett meg, amikor a populáció drámai módon beszűkült.

Az. előemberek természetesen nem csak Ázsiába vándoroltak át, hanem meghódították Európát is. Először 1908-ban, egy Heidelberg melletti kavicsbányában fedezték fel azt az igen erőteljes, nagyméretű állkapcsot, melynek értelmezésével a tudósok mindaddig sokat bajlódtak, míg további leletekre nem akadtak Európa más részein is. Azóta tudjuk, hogy előemberek éltek a mai Dél-Franciaország, Görögország, a Németország és Magyarország (Vértesszőlős) területén is.

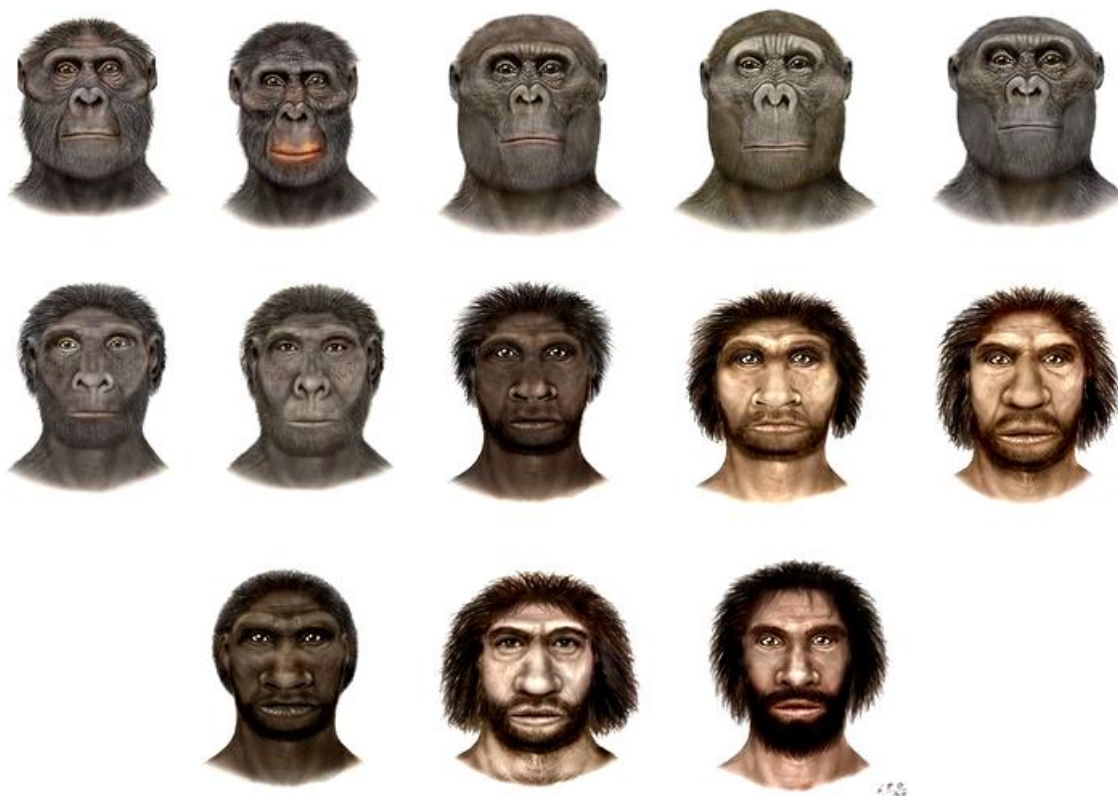
Mindegyik közül talán a mi leletünk a legfiatalabb korú, kb. 300 ezer éves. A mai Vértesszőlős község helyén, a Gerecse déli lábánál a mészkőhegységből langyos vízű források fakadtak, amelyek az akkori ártereken, domboldalakon - oldott mésztartalmuktól megszabadulva - nagy kiterjedésű mésztufagátakat és medencéket raktak le. A hegyvidék és a dombság találkozási - védett mélyedésekkel, itatóhoz járó állatokkal-, valóban ideális környezet lehetett az előember számára.

A vértesszőlősi előember, azaz "Sámuel" és családja egy száraz mésztufa medencében húzódott meg. Ismerte a tüzet, akár a pekingi előemberek. Szálláshelyén zsíros csontok parázslottak, amelyeket földdel borított be, ha néhány napra eltávozott. Kőszközei alapanyagáért sem kellett messzire mennie, mert a közelben ma is átfolyó Által-ér teraszai bővelkednek kvarcit kavicsokban, amelyekből nagyrészt kisméretű pattintott kavicseszközöket készítettek.

A vértesszőlősi előemberből mindössze egy tarkócsont és három gyermekfog töredéke maradt fenn. A töredékes koponyacsont értékelése sok vitát váltott ki. Előember volt-e Sámuel, vagy a legelső értelmes ember? Egyértelműen ma sem tudunk állást foglalni, de annyi bizonyos, hogy ő már a fejlett előemberek közé tartozott, s nem sok választhatta el attól, hogy ősi értelmes embernek tekintsük. Milyen tényezők és hogyan befolyásolták az előember fejlődését? Sok-sok szempontot és igen különböző súllyal vetnek latba az egymással vitatkozó régészek. Abban megegyeznek, hogy az eszközkészítés már általános volt, és őseink sokféle technológiát alkalmaztak. A vadászott állatok köre is eltérő volt. Míg Észak-Afrikában szinte minden, a környezetükben élt nagyvadra vadásztak, addig a pekingi előember többnyire csak két szarvasfaj elejtésére specializálta magát.

Őseink kis csoportjai olykor a ragadozók és a versenytársak elől menedéket keresve, vagy új élelemforrások után kutatva vetődtek olyan helyekre, ahol elszigetelten éltek, az egymás közötti keveredés pedig amely genetikai beszűkülést „genetic bottleneck” (genetikai „üvegnyak” vagy „palacknyak”, effektív populáció méret drasztikus csökkenése) hatást okozott, ami különféle genetikai fogyatékosággal járt együtt. Mégis túlélők lettek, nem haltak ki.

Az Isabelle és Nick Winder, a York és Newcastle Egyetem vezette kutatócsoport szerint ezek a kis létszámú csoportok új típusú szelekciós nyomáson estek át, nem a „legjobb” génekkel rendelkezők választódtak ki, hanem azok, akik képesek voltak a fogyatékosággal együtt járó új kihívásokkal megbirkózni – írja a Phys.org. (forrás: Nick P. Winder and Isabelle C. Winder: Complexity, Compassion and Self-Organisation: Human Evolution and the Vulnerable Ape Hypothesis, <https://phys.org/news/2015-06-vulnerability-human-early-ancestors-disability.htm> <https://intarch.ac.uk/journal/issue40/3/index.html>, <https://doi.org/10.11141/ia.40.3>.)



(forrás: https://juharizsuzsanna.blog.hu/2015/06/17/alkalmatlan_tulelok)

A képen balról jobbra: Australopithecus afarensis, A. africanus, Paranthropus aethiopicus, P. boisei, P. robustus, Homo habilis, H. rudolfensis, H. ergaster, H. erectus, H. heidelbergensis, H. rhodesiensis, H. neanderthalensis, H. sapiens (rekonstrukciók).

Úgy vélik, ekkor vált előnnyé a szocializáció, a tapasztalásnak és az új viselkedési módok megtanulásának képessége, valamint a részvét, a kommunikációs készségek megjelenése, ezek mind segítettek a „genetic bottleneck”-hatás hátrányainak leküzdésében.



(www.nybooks.com/articles/2014/04/03/most-us-are-part-neanderthal/)

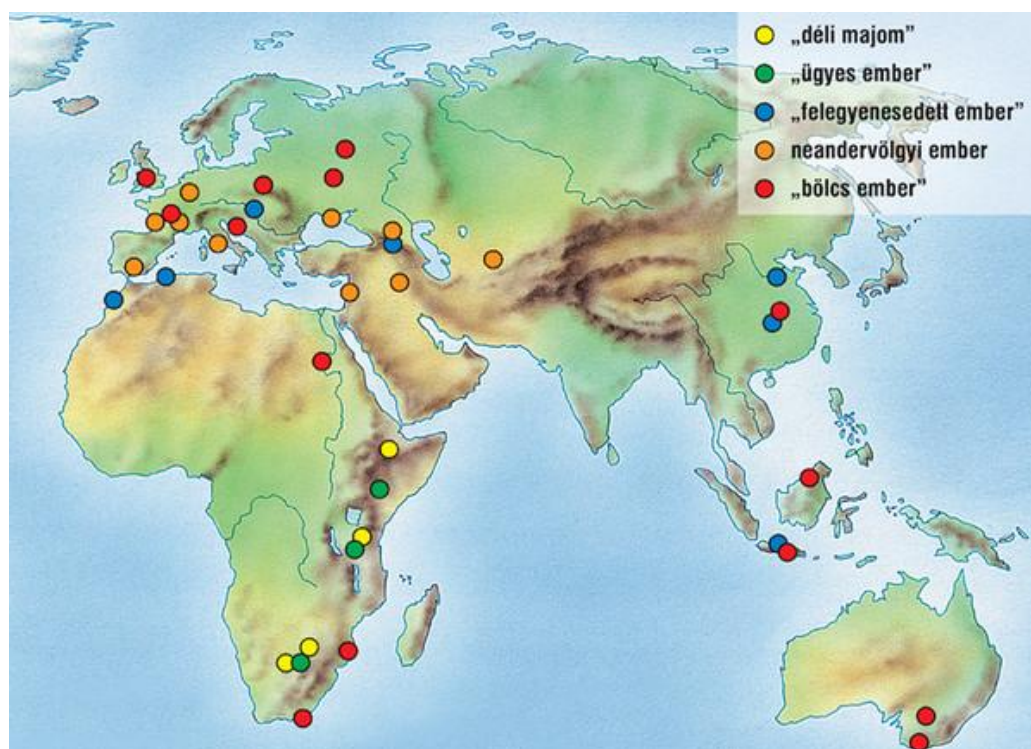
Ez a genetikai fogyatékoság szülte a szimbolikus nyelv megjelenését, az innovációt és a pro-szociális együttműködést. A hagyományos versenyelőny-modell miatt fajunk viszonylag magas genetikai fogyatékoságára fenyegetésként tekintünk, de a történeti antropológiai adatok azt mutatják, hogy a genetikai fogyatékoság előfordulása jóval nagyobb volt a távoli múltunkban. Ezért jó okkal gondoljuk úgy, hogy az együttérzés, a találékonyság, és a viselkedésbeli rugalmasság segítette őseinket a fogyatékoság okozta hátrány leküzdésében – mondták el a kutatók.



(elmundo.es/tecnologia/2016/02/05/56b49a2346163f0e5e8b4600.html)

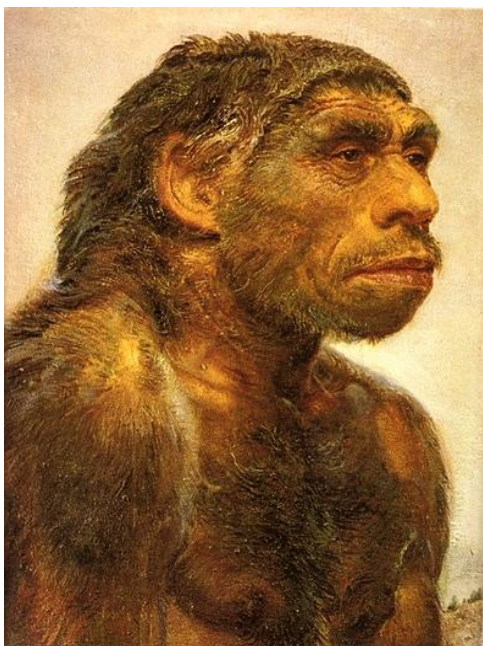
Vadászó, halászó, gyűjtögető társadalmak

Paleolitikum (őskőkorszak, pattintottkő-korszak), amely földtörténeti szempontból a pliocén végével és a pleisztocénnel esik egybe. kb. 2,4 millió évvel ezelőtt kezdődött és i.e. 10 000-ig tartott. Az emberiség történetének 99,5%-a a paleolitikumra esik. Az ember a földön való megjelenése óta eltelt félmillió esztendő során a végső tízezer évtől eltekintve vadászatból, halászatból és gyűjtögetésből élt. Bár a zsákmányolást űző ember mindenevő volt, fő táplálékát mégis a hús jelentette, s éppen ezért a vadászat csakhamar az ősember létfontosságú élelemszerző tevékenységévé vált.



Elsősorban Nyugat-Európában, Közel-Keleten és Észak-Afrikában élő ősember aránylag fejlett kő- és csonteszközöket használt. Az őskőkorszak az emberi eszközhasználatnak az a szakasza, amikor a kő- és csonteszközök tudatos készítése zajlik, és a technológia a szilánkhasításra korlátozódik.

A „vadászó ember” feltűnése hosszú folyamat eredménye. Az emberi törzsfejlődés korai szakaszának képviselői közül sem az Australopithecus, („déli-majom”), sem pedig az őt követő Homo habilis („ügyes” ember) nem vadászott. Döntően növényi táplálékból álló étrendjüket a ragadozók által hátrahagyott maradványok elfogyasztásával tették változatosabbá – olvashatjuk Robert J. Blumenshine és John A. Cavallo tanulmányában, amelyben a Homo nemzetség különböző létfenntartási stratégiáit vizsgálják.



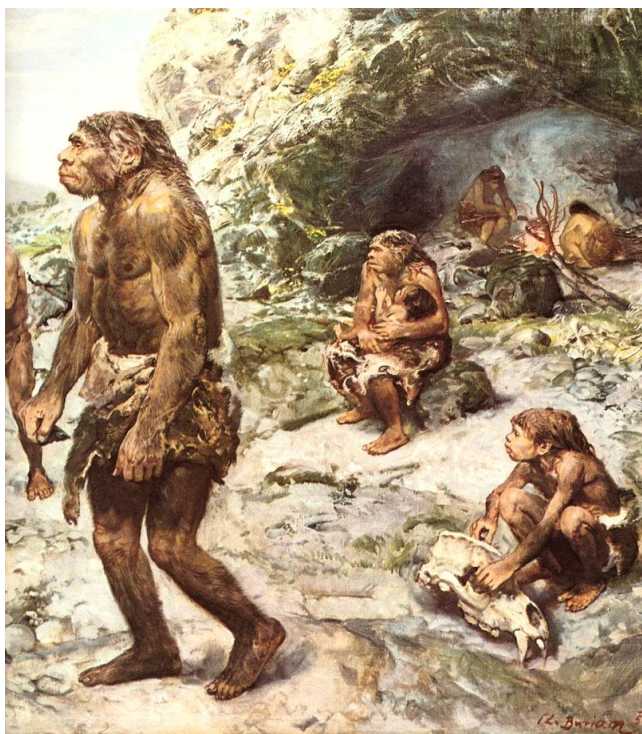
Homo sapiens neanderthalensis
(Palaeanthropus)
A „Neander-völgyi” ősemberről
a gibraltári kopnyalelet alapján
készült rekonstrukció.



Homo sapiens sapiens
(Neanthropus).
A Crô-magnon környéki
(Franciaország) lelet alapján
készült rekonstrukció.

A „Neander-völgyi” ősember
(Homo sapiens neanderthalensis)
valószínűleg hitt a halál utáni
életben. Ismerte a tüzet, halottait
gödörbe fektette, mellé fegyvereket
és táplálékot tett, súlyos
mészköveket helyezett rájuk, vagy
apró kövekből álló dombocskát
halmozott.
Az első jelentősebb lelete a
Düsseldorf melletti Neander-
völgyből került elő.
(80 000-40 000 évvel ezelőttig élt
itt.

A „Neander-völgyi” ősember
tábora



(Illusztráció: Zdenek Burian: Az őskori ember, Gondolat kiadó 1981.)

A primitív totemizmus kezdete a „Neander-völgyi” ősember történeti korához
kapcsolódik, körülbelül i.e. 80 000, és i.e. 10 000-ig tartott.



(MPI f. Evolúciós Antropológia/ J. Krause, [scitechdaily.com/biologists-sequence-a-new-neanderthal-genome-from-vindija-cave-in-croatia/](https://www.scitechdaily.com/biologists-sequence-a-new-neanderthal-genome-from-vindija-cave-in-croatia/))
„Neander-völgyiek” lakhelye volt a Vindija-barlang Horvátországban.

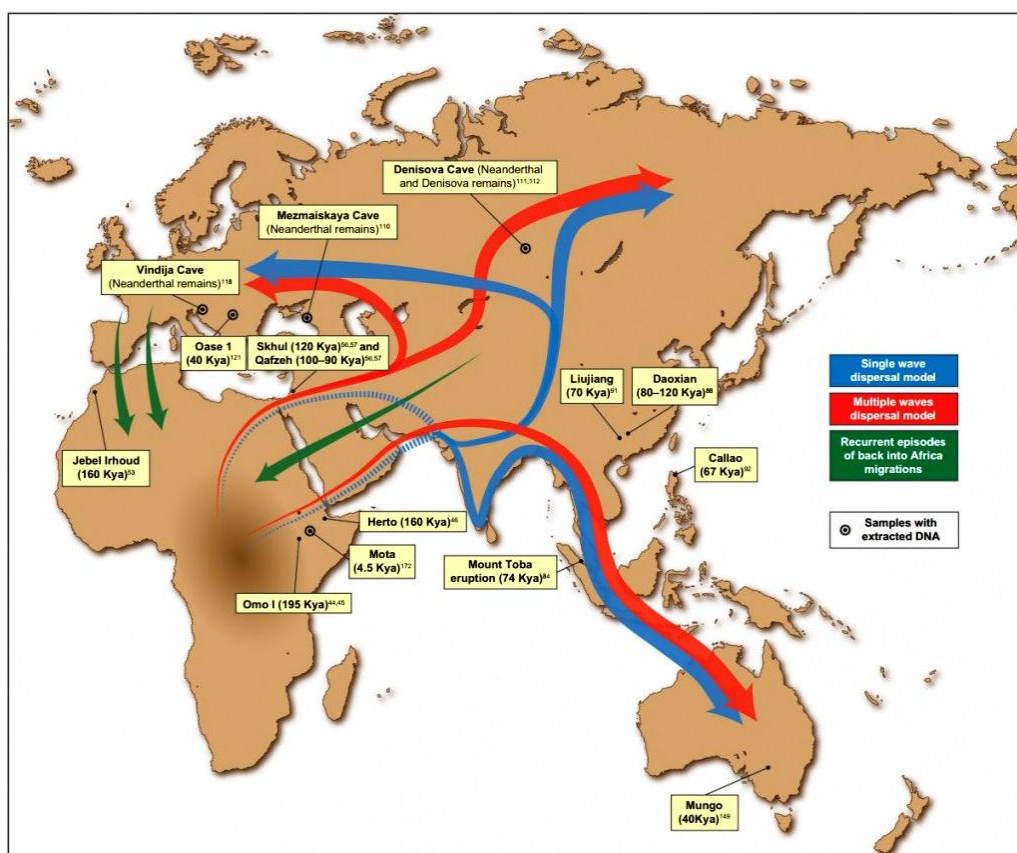


(forrás: <https://www.abc.net.au/news/science/2016-02-18/dna-shows-humans-left-africa-had-sex-with-neanderthals-earlier/7179826>)
„Neander-völgyi” család egy barlangban.

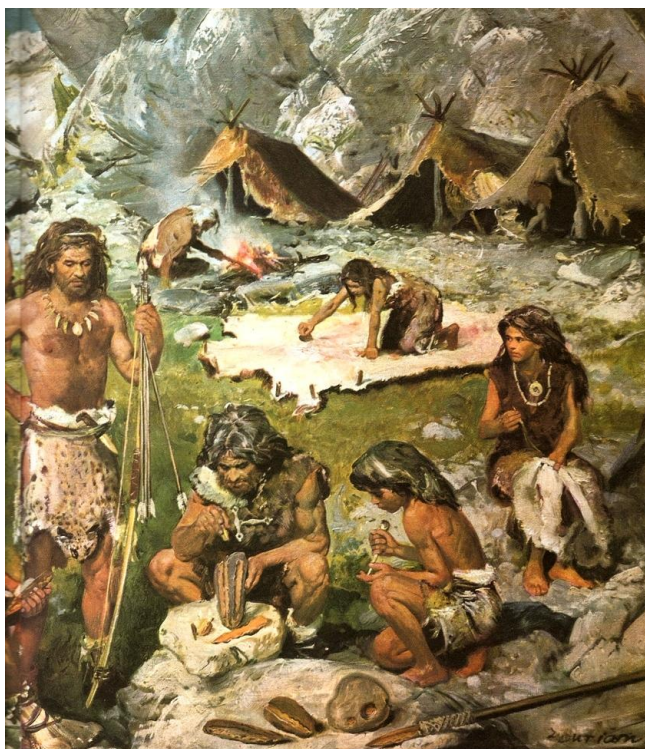


(hu.m.wikipedia.org/wiki/Fájl:Carte_Neandertaliens_classiques_hu.svg)

A Klasszikus „Neander-völgyi” (*Homo sapiens neanderthalensis*) maradványok lelőhelyeinek térképe



(forrás: reimaginingmigration.org/what-drove-ancient-human-migration-climate-change-via-npr/)

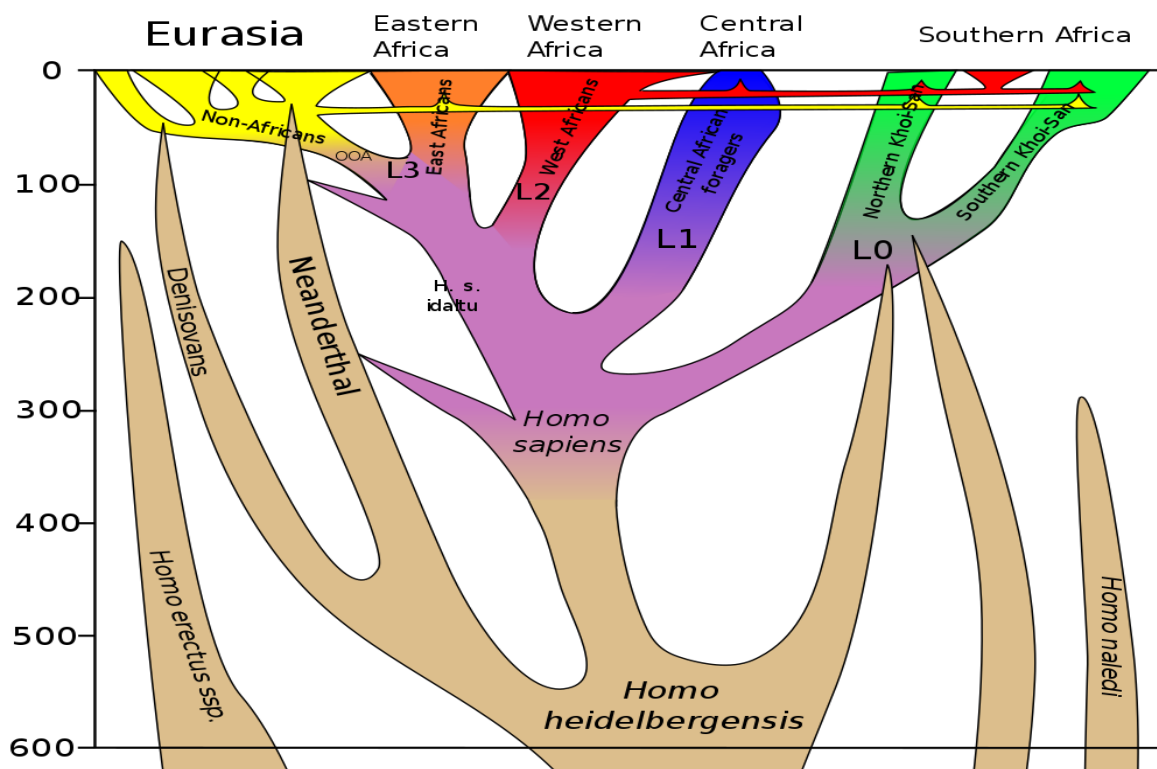


A „Crô-magnoni” ember a *Homo sapiens sapiens* (*Neanthropus*) vagy *Homo sapiens fossilis* (A mai ember ásatag őse) településére utaló lelőhelyeken a fossziliák korát is feltünteti a térkép.

A modern ember legkorábbi maradványait Afrika Szaharától délre eső vidékein és a Közel-Keleten találták meg.

A „Crô-magnoni ember” tábora.

(Illusztráció: Zdenek Burian
Az őskori ember, Gondolat kiadó)



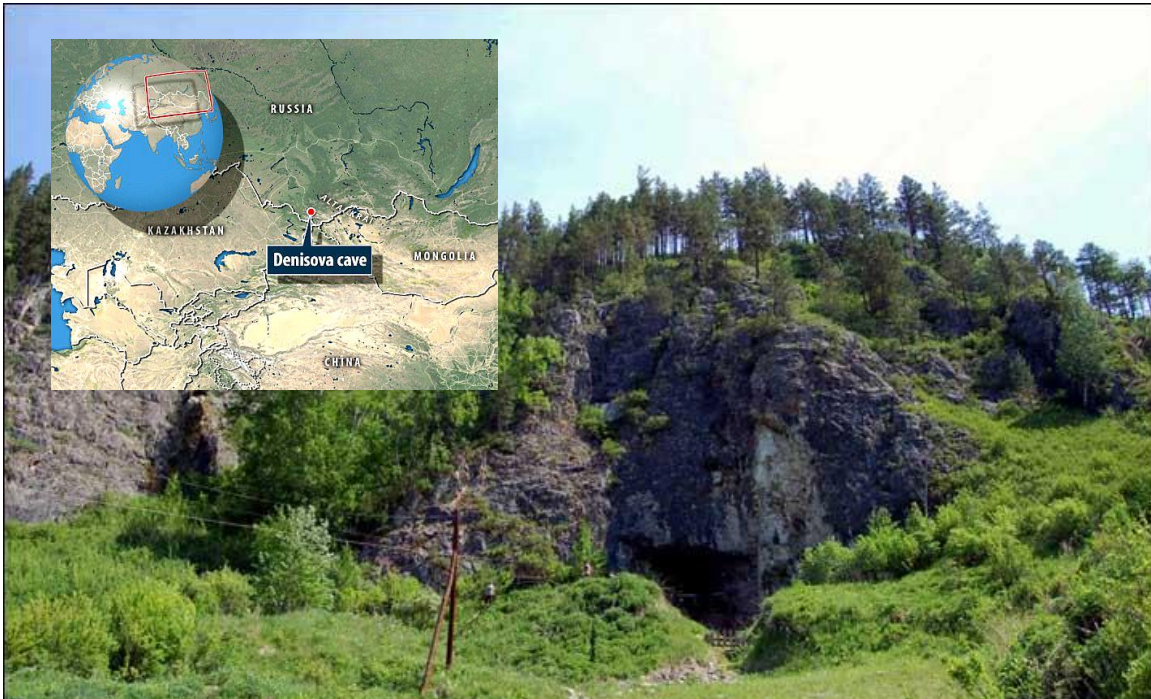
(forrás: commons.wikimedia.org/wiki/File:Homo_sapiens_lineage.svg)

A *Homo sapiens* (modern ember) faj egyszerűsített filogenetikus törzsfája az elmúlt 600 000 évben.



(forrás: Museum of Confluences. Franciaország (Dordogne), www.museedesconfluences.fr/fr/ressources/femme-sapiens-reconstitution)

Homo Sapiens nő, 16 és 18 év közötti, aki ~20.600 évvel ezelőtt élt. Elisabeth Daynès és csapata hipotézise fossziliákból, Jean-Noel Vignal, a Bűnügyi Kutatóintézet törvényszéki antropológusa és más szakemberek (antropológusok, régészek, őslénykutatók, anatómisták, kriminológus) szakmai segítségével készült modell.

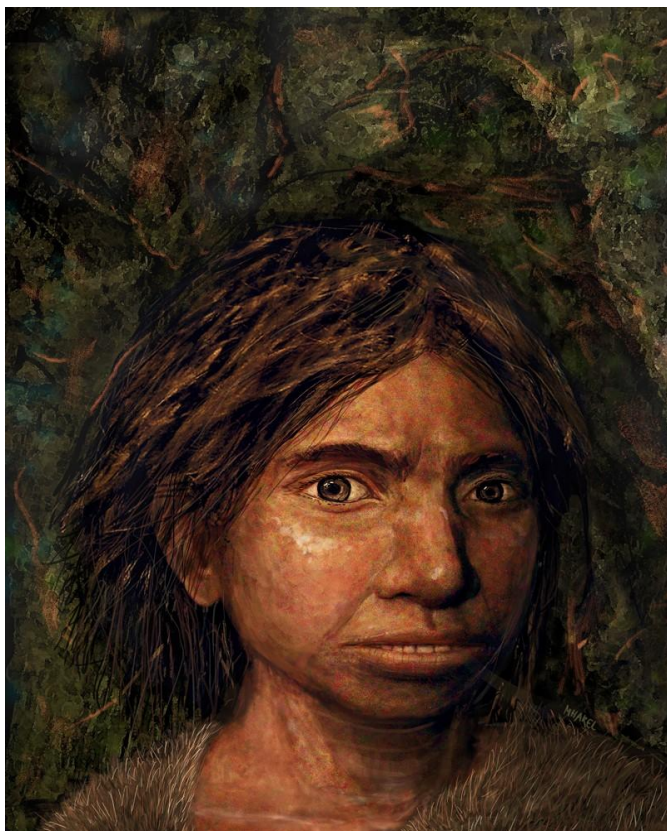


(forrás: siberiantimes.com/science/casestudy/features/f0100-stone-bracelet-is-oldest-ever-found-in-the-world/, és www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3238424/Inside-cave-home-Denisovans-Neanderthals-Homo-sapiens-Different-species-early-man-used-shelter-thousands-years.html)

A „Gyenyiszovai” ember elhelyezkedését az emberré válás törzsfáján a genetika segítségével sikerült megrajzolni. Kiderült az is, hogy keveredett a mai Ausztráliában és Új-Guineában élő modern emberrel, de egyáltalán nem, vagy genetikailag mérhetetlenül kis mértékben a mai Ázsiában élt modern emberrel, még akkor is, ha maradványát éppenséggel Ázsiában találták meg. Alan Coopernek, az ausztrál Adelaide Egyetem és Chris Stringernek, a londoni Természettudományi Múzeum professzorának a Science-ben publikált tanulmánya szerint ennek oka az lehetett, hogy a Gyenyiszovai embernek sikerült átlépnie a híres Wallace-vonalat, a világ legnagyobb biogeográfiai tengeri határvonalát.

A szénizotópos módszerrel legfeljebb 50 ezer éves szerves maradványok korát lehet megállapítani. Tom Higham, a tanulmány egyik szerzője (Oxfordi Egyetem radiokarbon-gyorsítójának igazgatója) és csoportja számos újabb csontmaradványra bukkant a barlang talajrétegeiben, és egyikükből sikerült DNS-mintát nyerni. A kutatók a rendelkezésükre álló adatokból, a DNS-ből, a talajrétegek elemzéséből, a karbonos meghatározás adataiból és egyéb archeológiai információkból egy matematikai modellt készítettek, hogy nagy biztonsággal meg tudják állapítani, mikor éltek a gyenyiszovai emberek a barlangban.

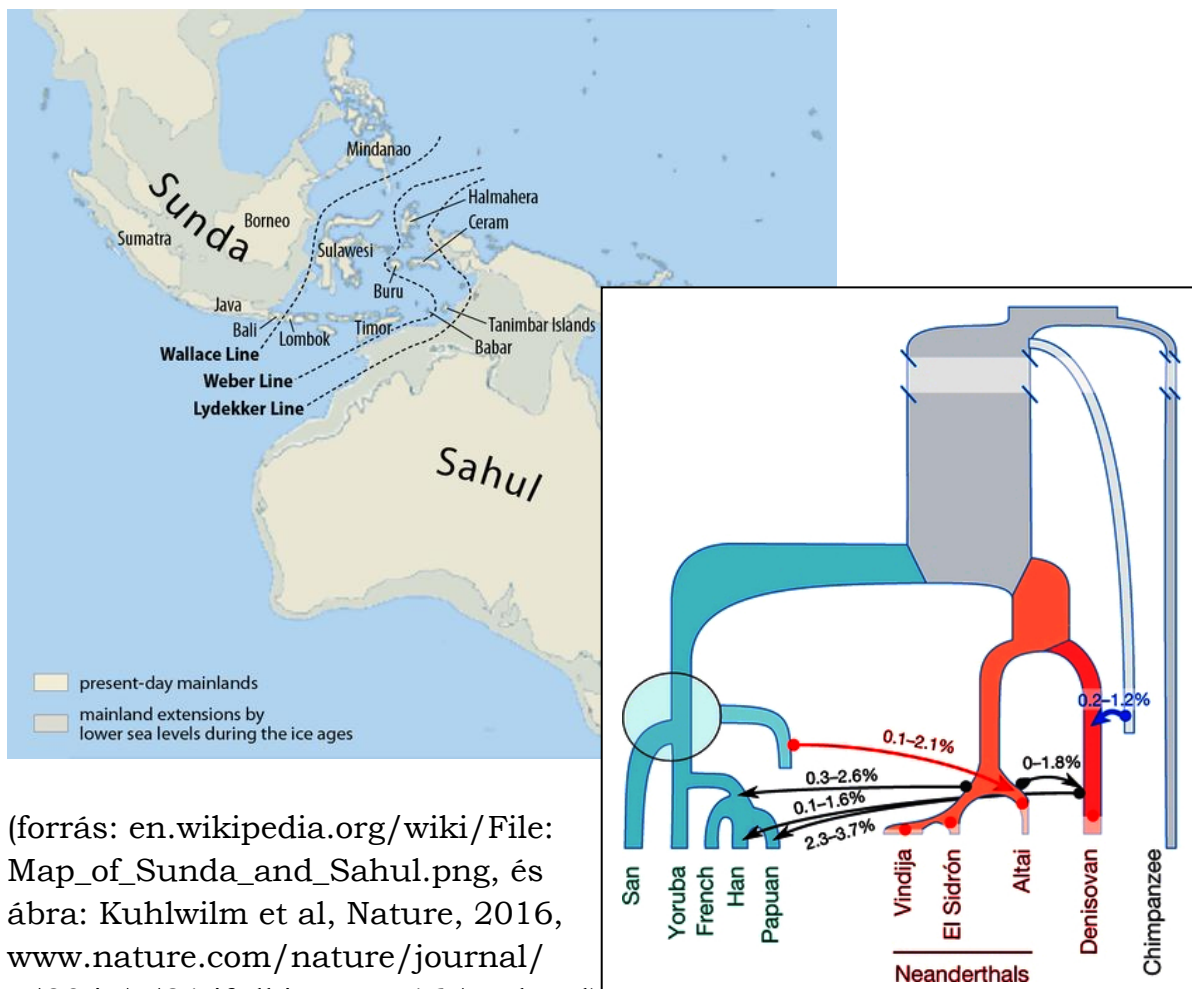
A „Gyenyiszovai” (Denisovai) ember "kétszázézer éve, vagy talán még korábban már ott éltek és körülbelül 50 ezer évvel ezelőtt tűntek el onnan" - foglalta össze az eredményt Higham. Az emberi maradványokon felül a kutatók kilyukasztott állatfogakat is találtak, amelyeket a barlangban élők feltehetőleg nyakláncként használtak, továbbá csonteszközöket, kagylóhéjakat és kőből készült karkötőket és egy csontból készült parányi lyukkal rendelkező varrótűt is felfedeztek.



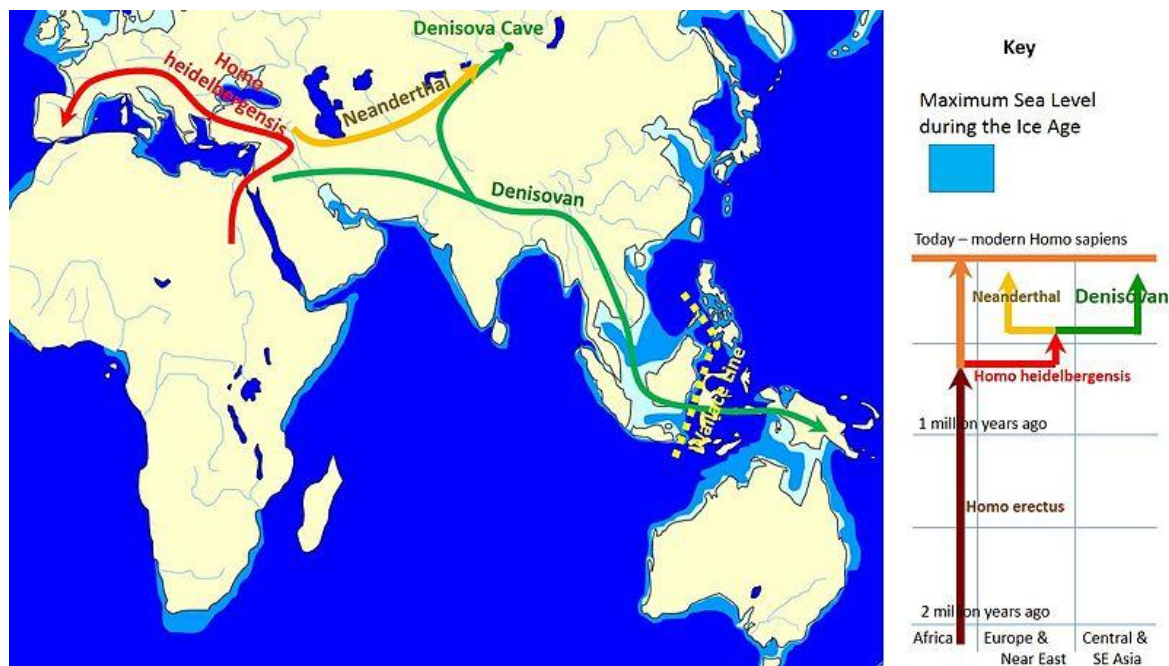
A Gyenyiszova-barlang legutóbb azzal került a címlapokra, hogy egy kutatás szerint a barlangban talált egyik emberi maradvány amely egy 90 000 éves csontdarab volt egy 13 éves gyermektől származott. Egy neandervölgyi anya és Gyenyiszovai apa lánya volt, ami az első bizonyíték arra, hogy a két korai embercsoport keveredett egymással. A publikált új kutatások azt is megállapították, hogy az egykori kislány, akit Dennynek neveztek el, százezer évvel ezelőtt élt a barlangban, ami azt jelenti, hogy a neandervölgyiek és a gyenyiszovaiak évezredekig élhettek együtt.

(forrás: MTI/Reuters/AFP, Maayan Harel, www.nature.com/articles/d41586-019-02820-0)

A genetikai méréseket alátámasztják a hobbitok is, az indonéziai Flores-szigeten talált Homo floresiensis-maradványok, amelyek arra utalnak, hogy egy időben több emberfaj volt jelen a területen, mint azt gondoltuk. A hobbitok antropológiai jegyeik alapján nem tekinthetők azonos fajnak a „Gyenyiszovai” emberrel, vagyis már legalább két különböző emberfajt találtunk ezen a területen, de természetesen lehetnek többen is – olvasható az Adelaide Egyetem honlapján Stringer professzor közleménye. Érdekes módon a genetikai adatok azt mutatják, hogy a „Gyenyiszovai” férfiak keveredtek a modern nőkkel, aminek oka talán az volt, hogy a mai ember kis létszámú csoportban át kelt a Wallace-vonalon és be lépett a „Gyenyiszovai” ember földjére – véli Cooper professzor. Persze ez utóbbi feltételezés akkor igaz, ha a mintegy 30 000 éve kihalt „Gyenyiszovai” ember a mai ember előtt lépte át a híres vonalat.



(forrás: en.wikipedia.org/wiki/File:Map_of_Sunda_and_Sahul.png, és ábra: Kuhlwilm et al, Nature, 2016, www.nature.com/nature/journal/v530/n7591/full/nature.16544.html)



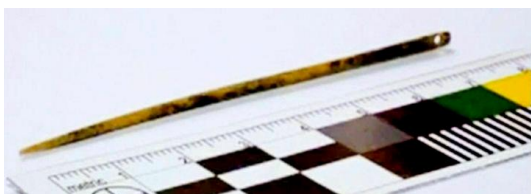
(forrás: en.wikipedia.org/wiki/File:Spread_and_evolution_of_Denisovans.jpg)

A „Gyenyiszovai” embernek sikerült átlépnie a Wallace-vonalat.

A „Gyenyiszovai” ember készítette a világ legrégebbi kőkarkötőjét, egy 40 000 éves mélyzöld, kloritból készült ékszer – sokkal modernebb technikával, mint amit korai őseink ismertek. A 2,7 cm széles, 0,9 cm vastag, feltehetően 7 cm átmérőjű karkötő két darabját találták meg. Az egyikén egy 0,8 cm átmérőjű fűrt lyuk látható, amelyet magas forgási sebességgel, kevés kilengéssel fúrhatták valamilyen állvány igénybevételével.



(en.wikipedia.org/wiki/File:Denisova_Cave_pendants_notched_bones.jpg)



(<https://siberiantimes.com/science/casestudy/news/n0711-worlds-oldest-needle-found-in-siberian-cave-that-stitches-together-human-history/>)



Csontból készült parányi lyukkal rendelkező varrótűt is készített!



(en.wikipedia.org/wiki/File:Denisova_Cave_pendants_notched_bones.jpg)

Mintegy 35 000 évvel ezelőtt Földünkön már csak Neanthropusok éltek, azaz a Homo sapiens sapiens alfaj képviselői. Gyakran az egyszerűség kedvéért csak úgy említjük őket, mint „Crômagnoni” emberek, egy igen jelentős délnyugat-franciaországi lelőhely, Crô-Magnon neve alapján. Elődjétől, az ősembertől számos vonásban alapvetően különbözik: magasabb termetű (160-180 cm), koponya-űrtartalma már a mai emberének felel meg; átlagosan 1400 cm³. Alsó állkapcsán kialakult az állcsúcs is, ami egyetlen elődjének sem volt.

A késői paleolitikum modern embere már fejlettebb társadalmi egységekben élt, s elődeinél jóval bonyolultabb eszközöket és fegyvereket készített kőből, csontból és fából. Ez az ember volt az első aki sziklarajzokat készített, ábrákat karcolt a sziklára, barlangok falára festett, szobrokat, domborműveket faragott.

A Neanthropusok most már nem csupán az Óvilág hatalmas területeit hódították meg - Ázsia, Európa és Afrika tájait -, hanem behatoltak Észak- és Dél-Amerikába, valamint eljutottak Ausztráliába is. Megteremtették a hideg klíma elviselésének technikai feltételeit, hiszen tüzet tudtak csiholni, sátrat állítottak, kunyhót építettek, és bőrből, szőrméből ruhát csináltak maguknak. Így azután lassan az összes éghajlati övben megtelepedtek, még a zord tundrákon, sőt a jégtakaró peremén is.

Az ember legkésőbb az őskor második felében megtanult dörzsöléssel tüzet gerjeszteni, vagy erre alkalmas kövek összeütögetésével, lángot gyújtani. Így még kevésbé volt kiszolgáltatva a természet vak erőinek.

A tűz lehetővé tette, hogy az ember elterjedjen az egész Földünkön.

A kései paleolitikum nemzetségeibe tömörült embere még vadászgató-gyűjtögető - s ennek megfelelően nomád - életmódot folytatott. Hiszen nap mint nap elegendő ehető növényt, magot, gyümölcsöt és kisebb élőlényt kellett találnia, vadat elejtenie, s alkalomadtán halat fognia, hogy szükségleteit kielégítse. Régebben elsősorban barlangokban húzta meg magát az ember, esetleg sziklaereszek alatt keresett védelmet, a nyílt terepen pedig a tábortűz mellett vagy egyszerű szélvédő sövény mögött húzta meg magát. Később már az ember az időjárás viszontagságainak ellenálló kunyhót és sátrat tudott emelni.

Ez jobban védte a hideg és a ragadozók ellen, sőt azt is lehetővé tette, hogy az ember néhány hetet vagy akár hónapot is letelepedve töltsön el.

Most már nem kellett teljes erejét latba vetnie napi szükségleteinek a kielégítésére, hanem a meglevő anyagi alapok segítségével ideje és lehetősége nyílt arra, hogy kialakíthassa kulturális és vallási szokásait, szertartásait is.

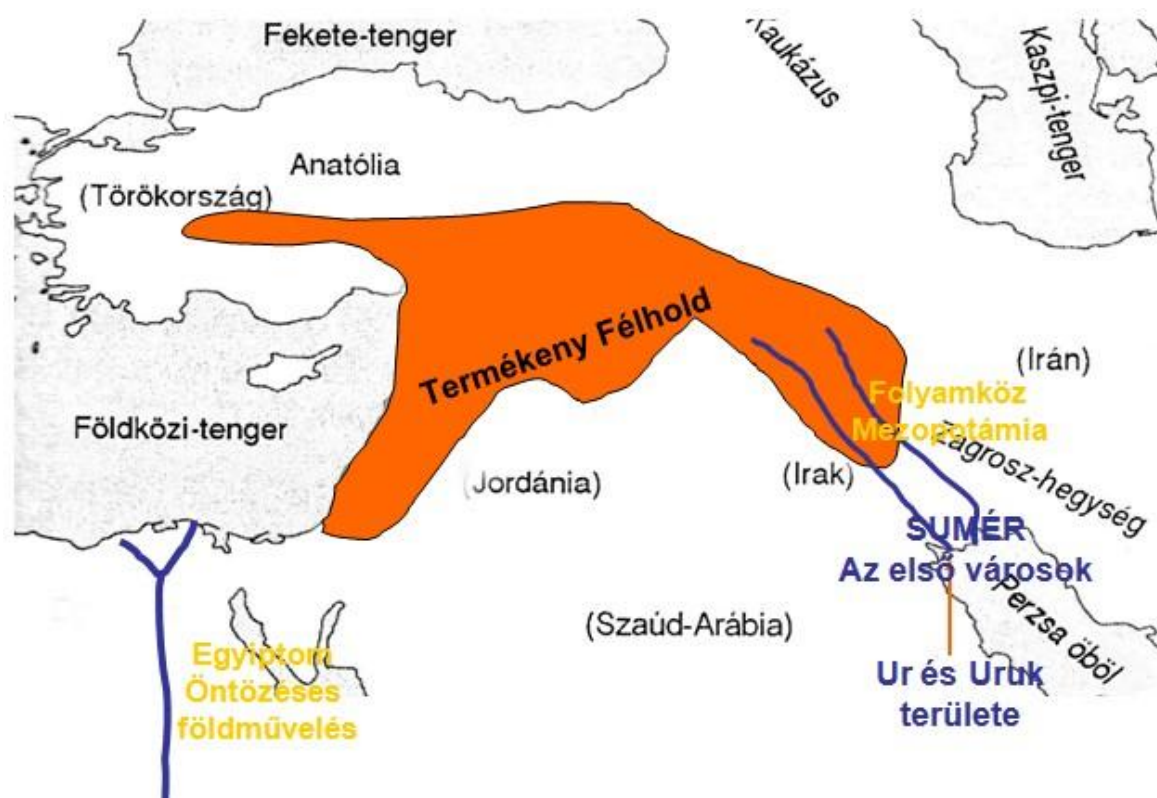
Letelepült és nomád állattartó közösségek

Neolitikum (újkőkor vagy csiszoltkő-kor) a gazdálkodás kezdetétől a fémek használatának elterjedéséig kb. i. e. 7000-tól i. e. 4500-ig tartott.

Az i. e. 10. évezredben a legutóbbi jégkorszak interglaciális, azaz melegedő periódusa következett, amely máig tart. A jobb éghajlati feltételekkel megváltozott az ősember környezete is. Megkezdődött a neolitikum, vagyis az újkőkor. A gyűjtögető életformát felváltotta az állattenyésztés és a földművelés, és ezzel együtt a letelepedett életmód. Ekkor alakult ki az agyagművesség. A neolitikum kultúrája a kerámián alapszik.

Az i. e. IX.-VIII. évezredtől a letelepült és nomád állattartó közösségek társadalmi rendszere két fontos szempontból különbözik a vadászó-gyűjtögető közösségektől: sokkal fontosabb számukra a rokonsági rendszer, mint a vadászó-gyűjtögető közösségeknek, továbbá a tulajdonnak is hangsúlyosabb szerepe van a szokásaikban.

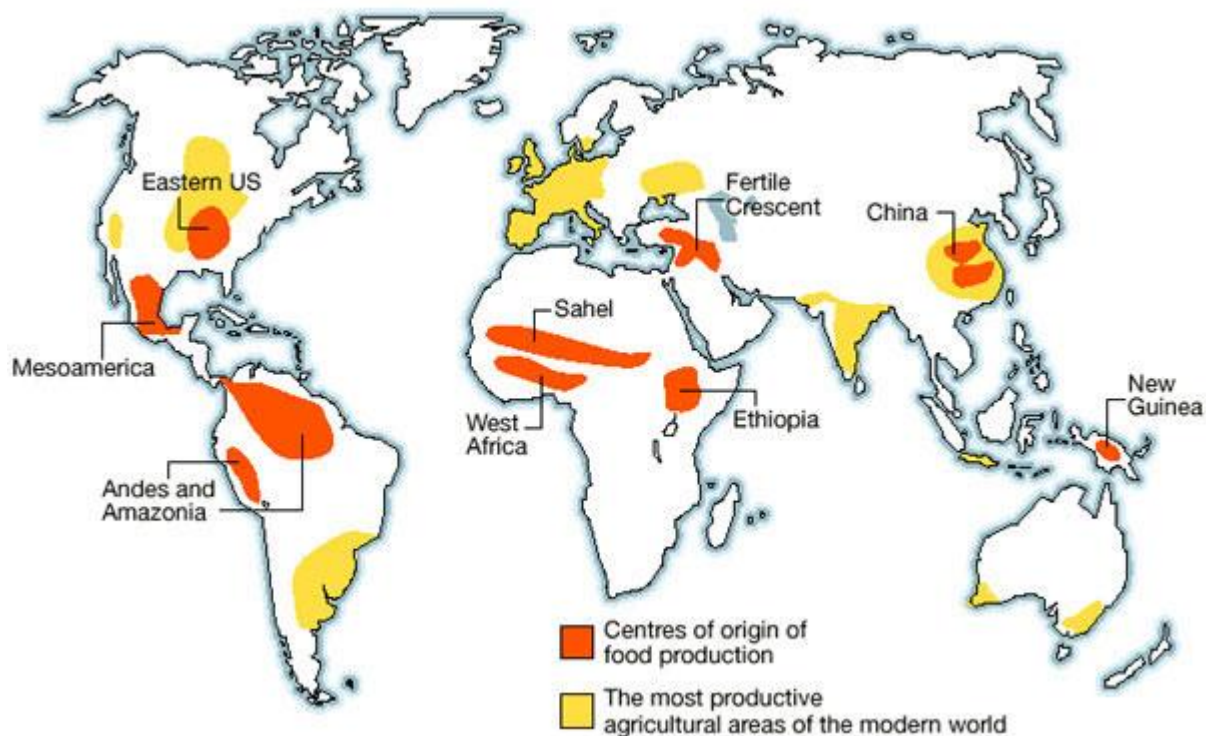
A domesztikálási folyamat – melyet Gordon Childe (1892-1957) ausztrál őstörténész neolitikus forradalomnak nevezett el – oksága és lefolyása mai napig nem tisztázott kérdés.



(forrás: <https://slideplayer.hu/slide/2056935/8/images/2/Az+élelmiszertermelés+bölcsoje%3A+itt+kezdodott+a+tortenelem.jpg>)

Az élelmiszertermelés bölcsoje

A neolitikus kultúra i. e. 10.000 után jelent meg Elő-Ázsiában (Irán), és onnan terjedt kelet és nyugat felé. Korai neolitikus kultúra alakult ki Délkelet-Anatóliában, Szíria és Irak területén i. e. 8000 körül. Az első élelemtermelő közösségek Délkelet-Európában i. e. 7000 körül jelentek meg, Közép-Európában i. e. 5500 körül. Az ötletek terjedési és az emberek vándorlási hullámaival a neolitikus jelenség innen terjedt Nyugat- és Észak-Európa felé i. e. 4500 körül. A korai neolitikus állattenyésztés pár vadon élő és háziállat, juh és kecske tartására korlátozódott, de ahogy melegebbé vált az éghajlat i. e. 6000 körül, megjelent a szarvasmarha és a sertés, átmeneti vagy állandó települések fejlődtek, kialakult a cserépkészítés. A neolitikum kulturális elemei eltérő helyeken nem mindig ugyanabban a sorrendben jelentek meg, például az első Közel-Keleti állattenyésztő társadalmak nem használták a fazekasságot, Afrikában, Indiában és Délkelet-Ázsiában egymástól független módon zajlott az állatok szelídítése, Japánban pedig már korábban megjelent a fazekasság, ami az európaiaktól eltérő területfüggő neolitikus kultúrák kifejlődéséhez vezetett. Közép-Amerikában i. e. 4500 körül hasonló folyamatok zajlottak (letelepedés és termelés), de az ezt megelőző 4000 éves időszakban nincs nyoma tűzhasználatnak és eszközöknek. Észak-Amerikában viszont a korábbi rétegekből 11-12 ezer éves kőeszközök is kerülnek elő.

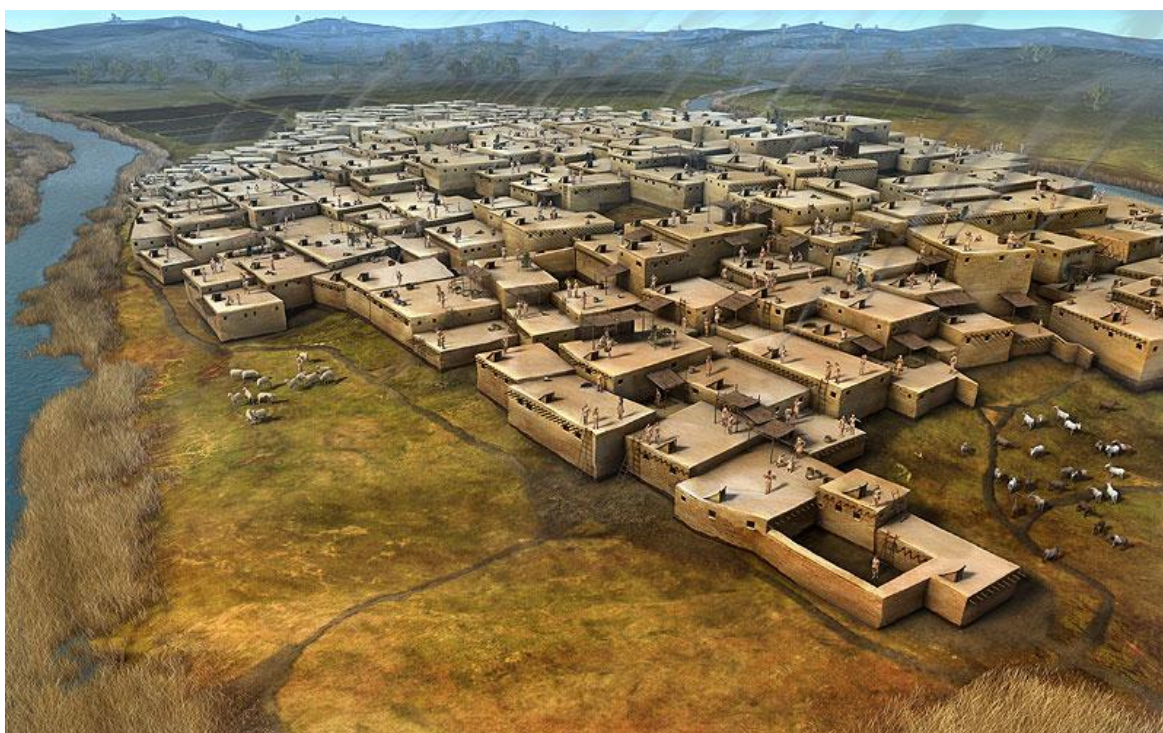


(forrás: <http://creofire.com/origin-point-civilization/>
<http://creofire.com/wp-content/uploads/2014/05/url12.jpg>)

A neolitikumi (narancs sárga) és a modern (citrom sárga) legtöbb élelmiszert termelő agrár régiók a Földön.

A közel-keleti neolitikus régészeti kultúra a Pre-Pottery Neolithic B, azaz Kerámia Előtti Neolitikus (kultúra) B változata (PPNB-kultúra) elsősorban abból a szempontból bír különleges jelentőséggel, hogy ekkor jelentek meg a négyszögletes épületek, illetve az emeletes építkezés.

Törökországban a Konya-síkság búzamezői közt, Konya várostól délkeletre. A levantei térség Çatal Hüyük („villa-halom”) i. e. 7. évezredből származó neolit-kori régészeti lelőhely. A település a i. e. 6800 - i. e. 6300 közötti időszakban élte virágkorát. i. e. 5700-5500 körül elnéptelenedett. Fénykorában mintegy 1000, átlagosan 25 m² alapterületű ház adott otthont körülbelül 5000 lakosának. Alapterülete körülbelül 12 hektáros volt, ami más korabeli lelőhelyekhez képest óriásinak minősül.



(w(

(forrás: www.sci-news.com/archaeology/science-catalhoyuk-map-mural-volcanic-eruption-01681.html)



Çatal Hüyük rekonstrukciós képe, és maradványai. Az egyik legrégebbi város emlék (i. e. 7500 - i. e. 5700) a mai Törökország területén található. Fellelhetők az ősi fazekasság, jelei őskori házasítás és állandó gazdálkodás, beleértve a szervezett búza és más gabonafélék termesztése és magtárakban tárolása. A legnagyobb és legjobb állapotban fennmaradt neolitikum helyszín.

(people.wku.edu/darlene.applegate/oldworld/webnotes/3neareast/sed.html)

A megnövekedett lélekszámú településeken feltehetően társadalmi differenciálódás ment végbe. Lehetővé vált, hogy a közösségeken belül alakuljanak családok.



(forrás: <http://commons.wikimedia.org/wiki/Çatalhöyük>)

A település egyik rekonstruált szentélye az Anatóliai Civilizációk Múzeumában (Ankara)

Çatalhöyük volt a Közel-Kelet és az Égeikum magasan fejlett újkőkori centruma (Konyától 52 kilométernyire). Az itteni ásatások során 10 építési (kultúr) réteget határoltak el, az i. e. 6.800-5.700. éves korszakból.

A négyszögletes alakú házak egyformák, s valamennyien egy-egy belső udvar köré épültek. A házak agyagtéglából, de kőalapozás nélkül létesültek. A lakóhelyek belülről egy szobát, egy előkészítő helyet és egy konyhát foglaltak magukba. A szobákban pad, főzőhely és kemence található

Çatalhöyük különleges jellemzője, hogy a házak egyes falai bikafejekkel és – képekkel vannak díszítve. A falfestményeken vörös, rózsaszín, barna, fekete és fehér színeket alkalmaztak, sovány agyagvakolatra felhordva. Különleges figyelmet érdemelnek az ember alakú figurák, istennők, emberi kezek, vadászjelenetek, állatok, pl. leopárd, bika, szarvas, vaddisznó, oroszlán, medve, madarak, továbbá tájkép és építészeti rajz, a háttérben működő vulkánal.

Az őstörténeti kutatások megerősítik, hogy Afrika atlanti és marokkói partjai a negyedidőszak (a földtörténeti újkort megelőző, kb. egymillió évvel ezelőtt kezdődött geológiai korszak) kezdete óta változatlanok maradtak.



Az afrikai földrész és különösen a Szahara őskori életét ma már teljes egészében ismerjük az őskori rétegekből, amelyek mindenfelé a chelles-acheuli, moustier-i, levallois-i kultúrák maradványait őrzik, és ha a felső paleolitikum hiányzik is, a neolitikus szerszámok viszont olyan bőségben vannak. Megállapítható, hogy a föld kevés vidéke lehetett ennyire lakott ebben az időben.

Az ókor görög és latin geográfusai révén tudjuk, hogy a Szahara időszámításunk előtt öt évszázaddal már az elsivatagosodás előrehaladott állapotában volt.

Henri Lhote (1903–1991) francia, felfedező, etnográfus, a „Sziklafestmények a szaharában” (A la découverte des fresques du Tassili Arthaud, Paris 1973) című könyvében az első Tasszili-expedíció tizenhat hónapos kalandos útja során feltártak alapján ír a Szahara múltjáról.

Az első neolitikus kultúrák, nyomai a Szahara közepén lévő Hoggar-hegységben és a Tasszili n'Ajjer-en található sziklafestményeken láthatóak. A vadász népek vagy a „Bubalus antiquus” (ősbivaly) korszaka, és a „kerek fejűek” korszaka: i. e. 9–5. évezred, a szarvasmarhafélék pásztorainak korszaka: i. e. 4–2. évezred, a szekeres-lovas pásztorok kora vagy a ló korszaka (protohisztórikus korszak): i. e. 2. évezredtől, a teve korszaka (ekkor került Ázsiából Afrikába a teve): nagyjából időszámításunk kezdetétől.

i. e. 7000 és i. e. 2000 közt a Középső-Szahara síkságain dús fűvű puszták hullámoztak, gazdag állatvilággal, folyókkal, mocsarakkal. Ez az ember számára is ideális környezet volt.

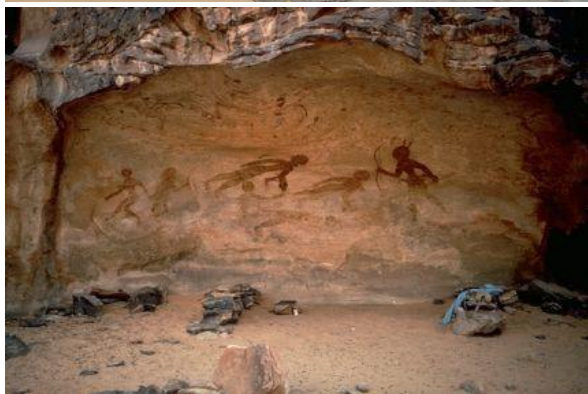
Szahara termékeny vidéke i. e. 3500 körül kezdett kiszáradni.

A hegység különlegességét a ritka növényfajok mellett a sziklarajzok adják, amelyek abban az időszakban születtek, amikor az éghajlat még nedvesebb volt, és a sivatag helyén szavanna terült el.

A legutóbbi jégkorszakban Észak-Afrikának ez az akkor még mediterrán éghajlatú területe valószínűleg aránylag sűrűn lakott volt.



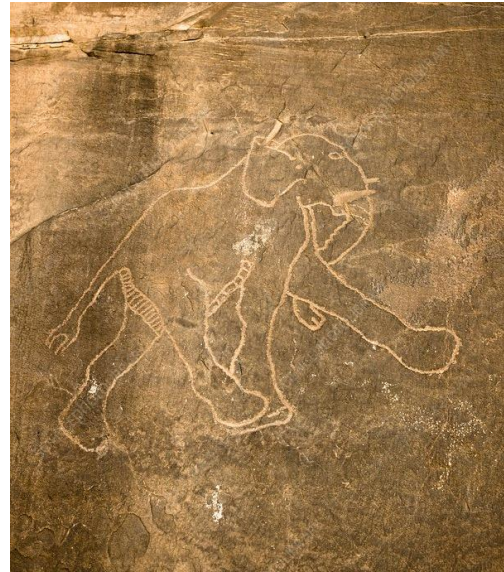
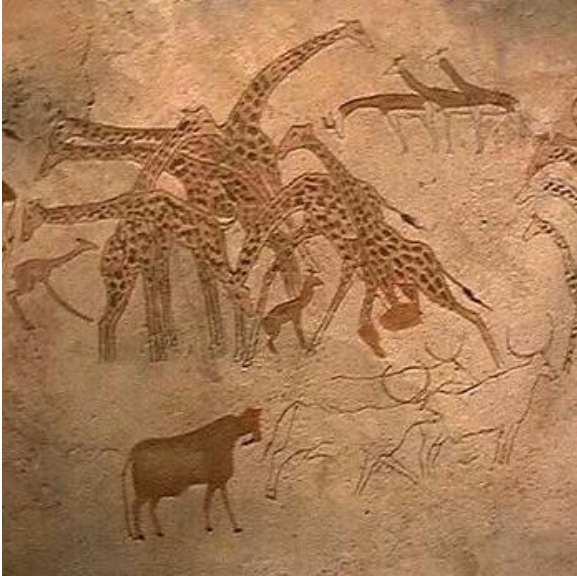
(<https://smarthistory.org/running-horned-woman-tassili-najjer-algeria/>)
A Tasszili n'Ajjer hegyvonulat a Szahara algériai részén, 500 km hosszan nyúlik el.



(forrás: www.africanworldheritagesites.org/cultural-places/rock-art-pre-history/tassili-najjer.html)

Ti-n-Tazarift, Észak-Tassili (Algeria)

Uadi Nesseret, Észak-Tassili (Algeria)



(hu.pinterest.com/pin/4362930872653860/ és www.sciencephoto.com/media/393497/view/petroglyph-of-running-elephant-libya)



(forrás: saharalive.blogspot.com/2013/05/round-head-images-sefar-tassili-tan.html)

A „kerek fejek” korszakában készült, i.e.. 5000 körül, Tin-n-Tazariftben, Tassili-n-Ajjerben.

Igen gyakran házi munkát ábrázolnak ezek a festmények, és nagyon hű képet nyújtanak festőik otthoni életéről. Kúp alakú kunyhókban laktak, asszonyaik őrlőkövön zúzták a gabonát.



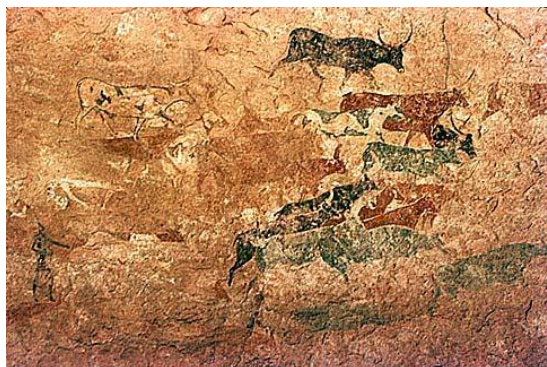
„Gabona őrlés”
Sefar (Algéria)
i. e. 3080
(aars.fr/rupestre_en.html)

Őrlőkő



„Hajmosás” Uan Amil (Libia) (aars.fr/rupestre_en.html)

A férfiak lovaglólülésben utaztak marháikon, az asszonyok pedig mögöttük ültek. Gazdaságuk alapja a szarvasmarha volt, de kecskét és birkát is tartottak.



(forrás: aars.fr/rupestre_en.html)

Marhapásztor
korszak
i. e. 4000 - 2000

Tamrit,
Tassili
(Algéria)

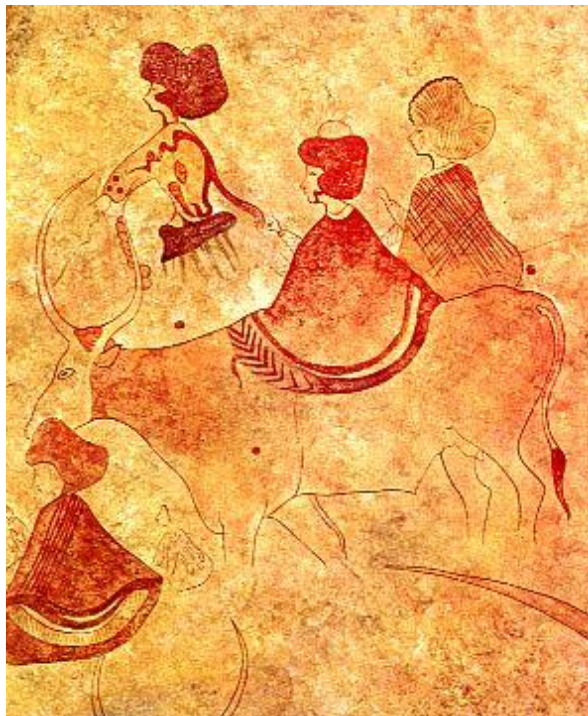


(forrás: www.africanworldheritagesites.org/cultural-places/rock-art-pre-history.html)

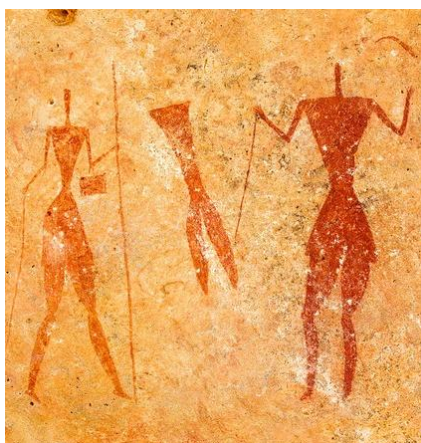


(forrás: https://io.wikipedia.org/wiki/Historio_di_Aljeria)

Tasszili (Algéria) i.e. 4000

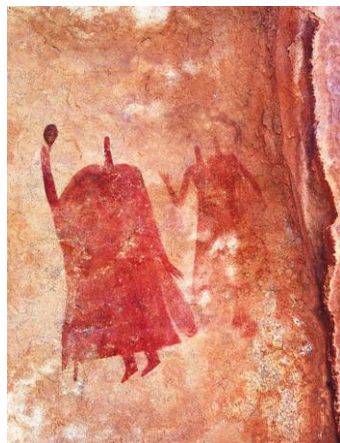


Oua-n-Derbaouen (Algéria)



(forrás: http://sunrise.maplogs.com/illizi_province_algeria.178491.html)

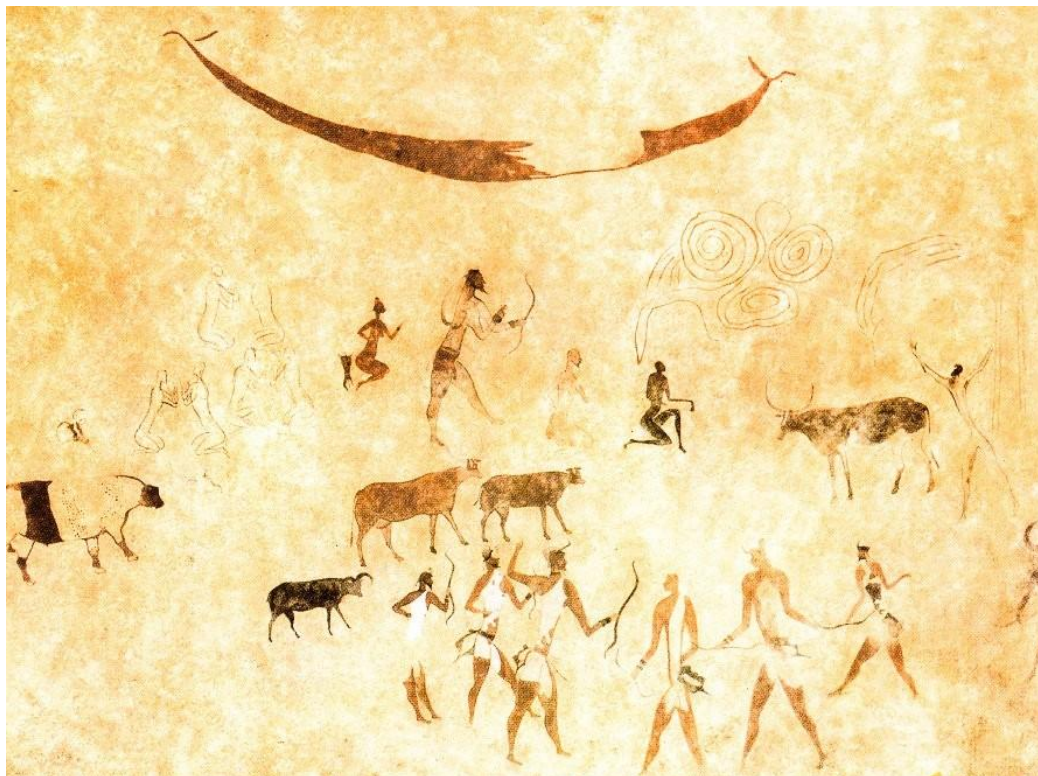
Tasszili n'Ajjer (Algéria)



Tarsed Jebest (Algeria)

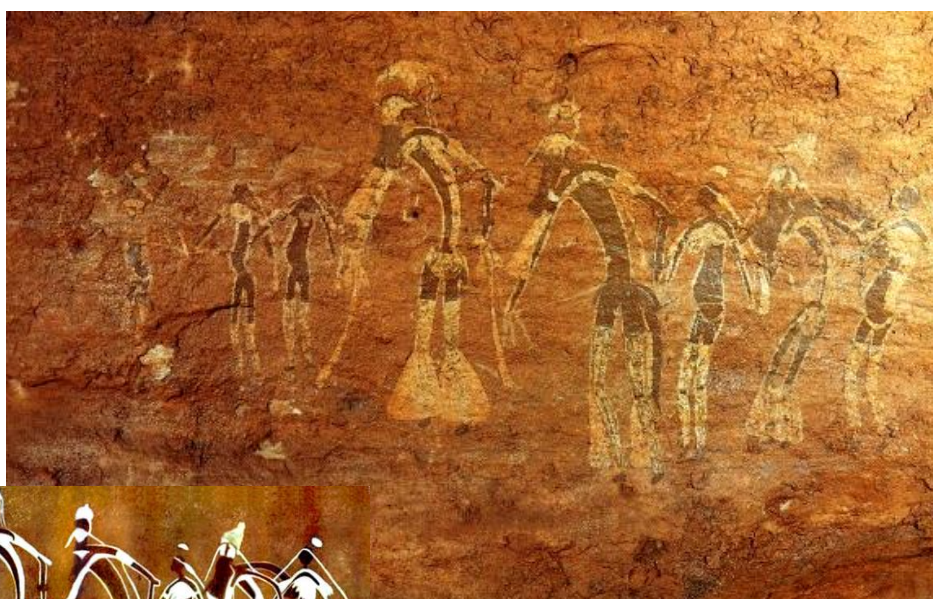
Feketék voltak vagy fehérek? Az arcélek meglepően változatosak; akad közöttük prognatikus (előreálló fogsorú), mások europidok, így feltehető, hogy fizikai típusuk nem volt egységes, és több népfajta élhetett egymás mellett, talán ugyanúgy, mint ma a tuaregek és fekete rabszolgáik.

(A tuaregek valaha délről, a Niger vidékéről feketéket raboltak el, és rabszolgává tették őket. Ez a népesség azonban nem a hagyományos értelemben vett rabszolga, hanem az erőteljesen rétegzett tuareg társadalomban a pária szerepét tölti be, és a nomádok szemében alacsonyabb rendű kovács- és földműves munkát végzi.)



(forrás: <http://hu.pinterest.com/pin/550705860656366732/>)

„A legkülönbözőbb ruházatot viselő figurák elragadóak voltak, alakjuk kiegyensúlyozott, csupa elegancia. Testtartásuk legtöbbször mozgást tükröz; látjuk, amint egy atléta mozdulatával feszítik meg íjukat vadászat közben, megütköznek egymással a csordák birtoklásáért folytatott harcban, vagy csoportosan táncolnak.



(aars.fr/rupestre_en.html)

„Táncjelenet” Sefar (Algéria)

A vadászó közösségek rokonsági rendszere cognat (anyai és apai vonalat is követő), ezzel szemben a letelepült és nomád állattartó közösségeké unilineáris: vagy apai vagy anyai ágon tartják nyilván a rokonságot, de a mindkét vonalat számon tartó cognat rokonság ismeretlen számukra. Mivel a legtöbb archaikus, ill. kora ókori közösség agnat rendszerű, a kutatók többsége azt feltételezi, hogy az átmenet a cognat formából az agnatba a letelepült létformával és a mezőgazdasági termeléssel áll összefüggésben. A földet ugyanis csak egy nagyobb közösség tudja birtokba venni és megművelni, ráadásul ekkor egy új szempont is megjelenik: a föld tovább örökítésének kérdése, ami a vadászoknál fel sem merül.

Csak az egyik ágon kezdik számolni a rokonságot, az esetek többségében a férfiágon. Ez vezet az agnat rokonsági rendszer kialakulásához.

A patriarchátus kialakulása egybeesik a földművelés fejlődésével. A földművelés igazi férfimunkává az eke feltalálásakor lett. Ekkor szűnik meg az intenzív gyűjtögetés; az asszony elsőbbséget élvező munkáját felváltja a fontosabb férfimunka. A föld művelése megteremti a helyhez kötöttséget, hiszen a föld embernek, állatnak egyaránt megtermi az élelmet. Így váltja fel a matriarchátust a patriarchátus.

Bodrogi Tibor így foglalja össze a patriarchátus szervezetét: „A földművelés és pásztorkodás idején a férfiak jutnak vezető szerephez, ami abból is kitűnik, hogy a másik nemzetség asszonyai költöznek hozzájuk, s ettől kezdve a gyermekek is az ő nemzetségükbe tartoznak. Az anya-, illetve apajogúság a nagycsaládra is kiterjed.

A patrilineáris leszármazáson és patrilocális letelepülésen alapuló nagycsalád egy apa férfi utódainak rendszerint három nemzedékét foglalja magában. Az apaági nagycsaládhoz tartoznak az apa fivérei, fiainak és fiúunokáinak családjai; a nők csak férjhezmenetelükig, azután - a patrilocális településnek megfelelően - férjük családjához költöznek, és ennek a nagycsaládnak tagjaivá válnak.

A matrilineáris leszármazásnál fordított a helyzet. A nagycsalád összetevői rendszerint monogám házasságon alapuló kiscsaládok, de ritkán előfordulnak poligám házasságon alapuló poliginikus és poliandrikus (több apa, több anya) nagycsaládok is. A monogám házasságon, patrilineáris leszármazáson és patrilocális letelepülésen alapuló nagycsaládot a világ nagy területein, nomád állattartó és földművelő népeknél egyaránt megtaláljuk.”.

Az ősi római társadalom is agnat volt, ezért az agnatio (lineage) fogalmának kidolgozását a római jogászoknak köszönhetjük. Agnat rokonnak az számít, aki egy adott családfő (pater familias) hatalma alatt áll vagy állna, ha az adott családfő (ős) még élne.

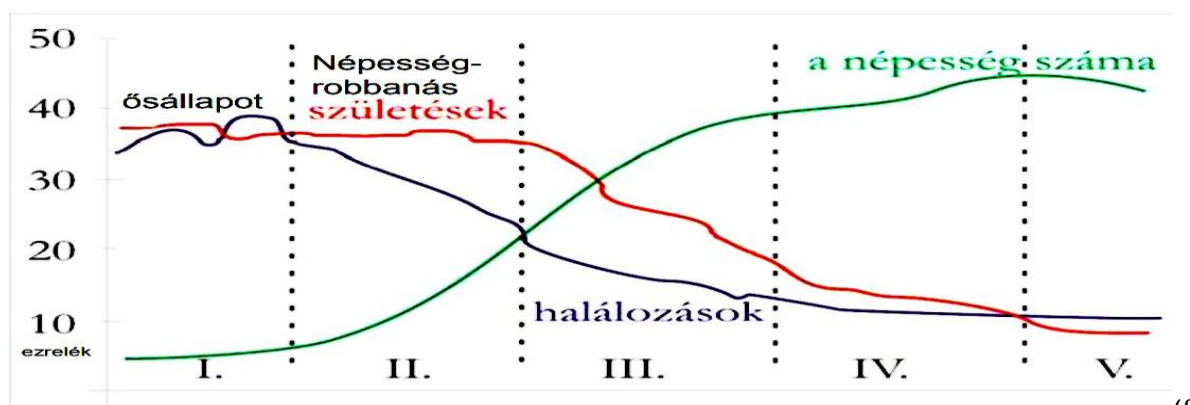
A népesség növekedése

Az emberiség történelme során három olyan fontosabb időszak volt, amikor a népesség intenzívebben nőtt:

Kr.e. 10000 körül, a neolit forradalom idején, amikor a gyűjtögető-vadászó életmódot felváltotta a mezőgazdasági termelés és ezzel összefüggésben megkezdődött a letelepedés. Az állandó települések kialakulása és a mezőgazdasági termelésből adódó biztonságosabb megélhetés a népesség intenzív növekedését eredményezte.

A XVIII. század közepétől az ipari forradalom nyomán javuló életfeltételek, közegészségügyi ellátás, a visszaszoruló gyermekhalandóság, a növekvő várható élettartam Nyugat-Európában a népességszám ugrásszerű emelkedését eredményezte (első demográfiai forradalom).

A XX. század második felében az ipari forradalom vívmányai a fejlődő országokban is elterjedtek, így itt is javultak az életkörülmények, a közegészségügyi ellátás, ezáltal a halálozások jelentős mértékben csökkentek, viszont a születések száma továbbra is magas maradt. Mindezek következtében egy addig nem tapasztalt mértékű népességnövekedés zajlott (zajlik) le ezeken a területeken, például Kelet-Ázsiában, Afrikában (második demográfiai forradalom). Ez a világ népességének robbanásszerű növekedését eredményezte, amit népességrobbanásnak nevezünk.



(f)

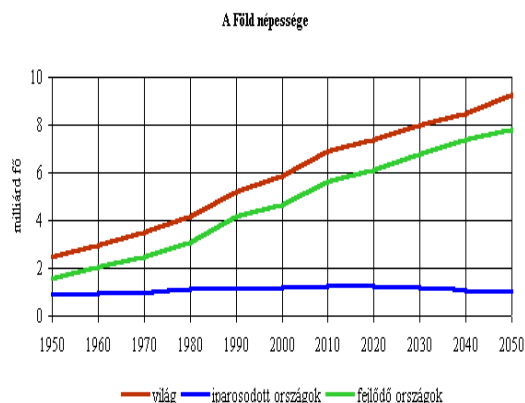
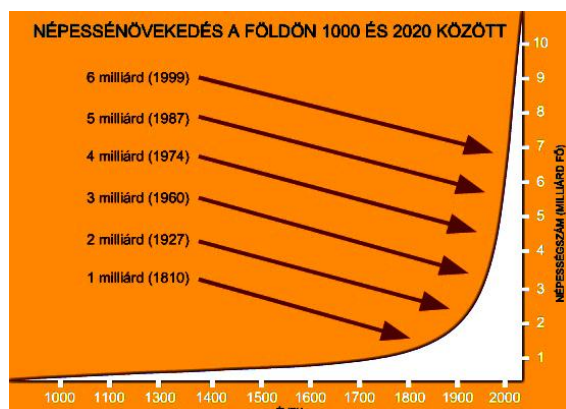
orrás: tamop412a.ttk.pte.hu/files/foldrajz2/ch02.html)

A demográfiai átmenet modellje (szerk.: Pirisi G.)

Előbb-utóbb Földünk valamennyi népe egy magas születési és halálozási arányokkal jellemzett állapotból eljut abba a népesedési szakaszba, amikor a születési és halálozási számok eltávolodásával magas természetes szaporulat jellemzi, majd a két érték alacsony szinten való ismételt kiegyenlítődésével ismét egy csekélyebb természetes szaporodással jellemezhető ciklusba.

E hosszú távú folyamatot szemléletesen a demográfiai átmenet modelljével lehet leírni.

A XX. század második felében a világ népességének átlagos évi növekedési üteme 1,7-2,0 %.



(forrás: tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/foldrajz/tarsadalomfoldrajz/a-vilagnepesseg-elozlasi-es-novekedese/a-nepessegrobbanas, és www.worldometers.info/hu/, és www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/global/002.htm)

Nehéz megállapítani, hogy mennyi embert képes a teljes Föld eltartani. A kérdéskörben rengeteg tanulmány született már. Egy 2004-es meta analízis 69 ilyen tanulmányt elemezve 7,7 milliárd fős kapacitást talált a legjobb becslésnek, de az egyes tanulmányok becslései nagyon különböztek (a legkisebb becslés szerint 0,65 milliárd, a legnagyobb szerint 98 milliárd embert képes hosszú távon eltartani a Föld).

Az emberiség hosszú történelme során 1800 körül érte csak el az egymilliárd főt, ennek a megduplázódására viszont már csak 130 évre volt szükség – 1930-ra a népesség kétmilliárd, 1959-re már 3 milliárd fő volt, majd a rohamos növekedés eredményeképp 2011-re a 7 milliárd főt is elérte.

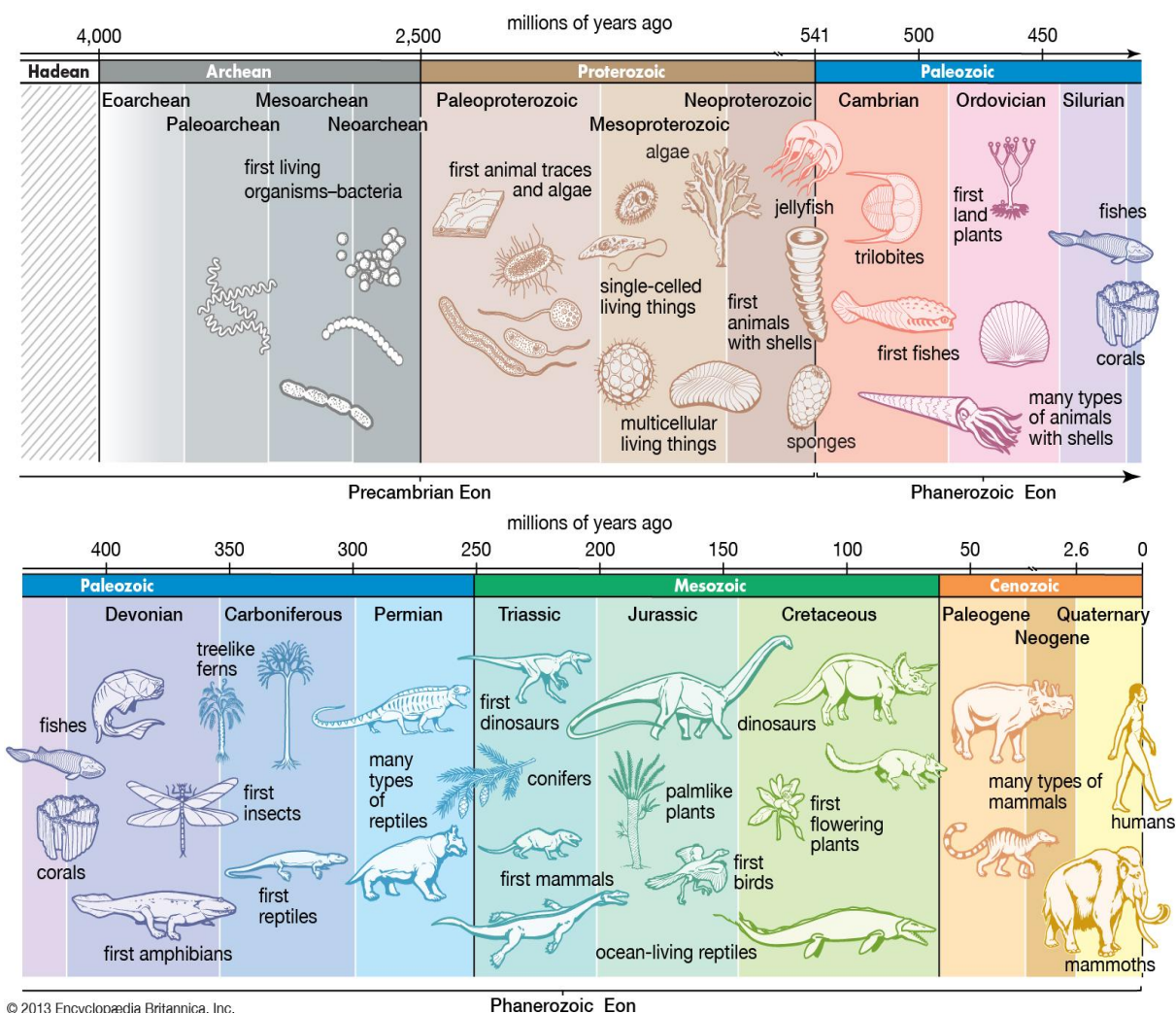
Az ENSZ becslései alapján a 8 milliárd főt 2024 tavaszán, a 10 milliárd főt pedig 2056-ban éri majd el az emberiség. A Növekedés Határai c. tanulmány modellje szerint azonban a jelenlegi trendek mellett már 2030 körül elkezdene csökkenni a népesség a természeti erőforrások kimerülése (pl. talajpusztulás, rétegvizek eltűnése, stb.) miatt.

időszakasz dátuma	időszakasz hossza (év)	népességszám a szakasz elején (millió fő)	népességszám a szakasz végén (millió fő)	népességnövekedés (millió fő)
K.r.e. 10000-K.r.e. 7000	3000	5	10	5
K.r.e. 7000-K.r.e. 4500	2500	10	20	10
K.r.e. 4500-K.r.e. 2500	2000	20	40	20
K.r.e. 2500-K.r.e. 1000	1500	40	80	40
K.r.e. 1000- Kr. születése	1000	80	160	80
Kr. születése- 900	900	160	320	160
900-1700	800	320	600	280
1700-1850	150	600	1200	600
1850-1950	100	1200	2500	1300
1950-1985	35	2500	5000	2500

1. táblázat: A világnépesség megkétszereződési szakaszai

(www.sulinet.hu/tovabban/felveteli/2001/11het/foldrajz/foci11.html)

A negyedidőszakban oly gyakran bekövetkező és mélyre ható klímaváltozások természetesen hatással voltak az állatvilágra is. Egyes fajok elterjedési területe több ízben is jelentősen megváltozott, másrészt új fajok is kialakultak, ugyanakkor a túlspecializálódott fajok, sőt nemzetségek sorra kipusztultak. Ez a sors érte például az erdei elefántot (*Palaeoloxodon antiquus*), az erdei orrszarvút (*Dicerorhinus kirchbergensis*), valamint az óriásszarvast és a hideg szakaszok óriási styep-elefántját (*Mammonteus trogonterii*). Kipusztult továbbá a mammut (*Mammonteus primigenius*), a gapyasorrszarvú (*Coelodonta antiquitatis*), valamint a barlangi medve (*Ursus spelaeus*).

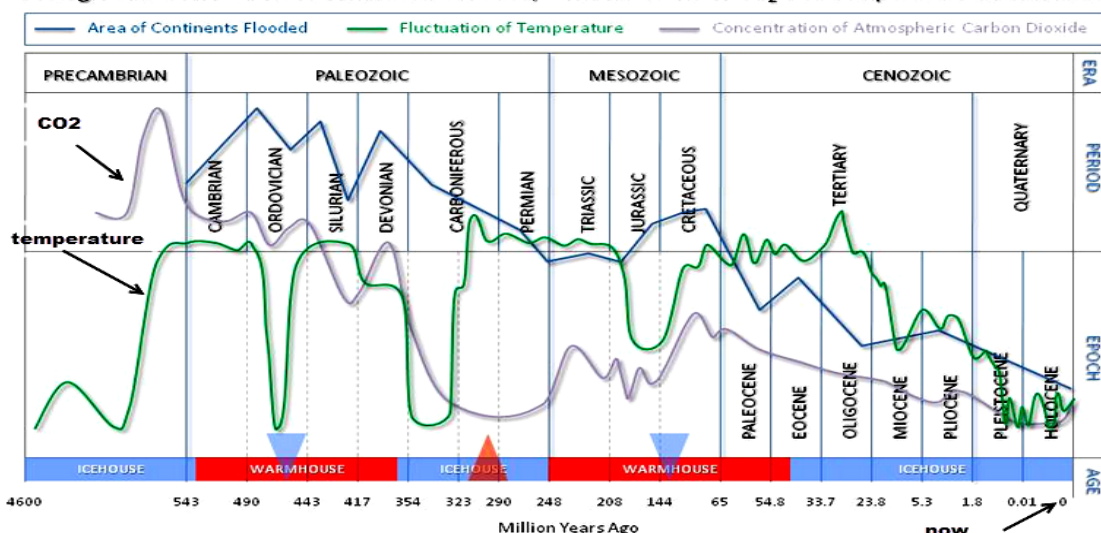


(forrás: Encyclopædia Britannica, Inc. 2013.

<http://media-1.web.britannica.com/eb-media/26/93626-004-91C01303.jpg>

<http://www.nature.com/nature/archive/index.html>)

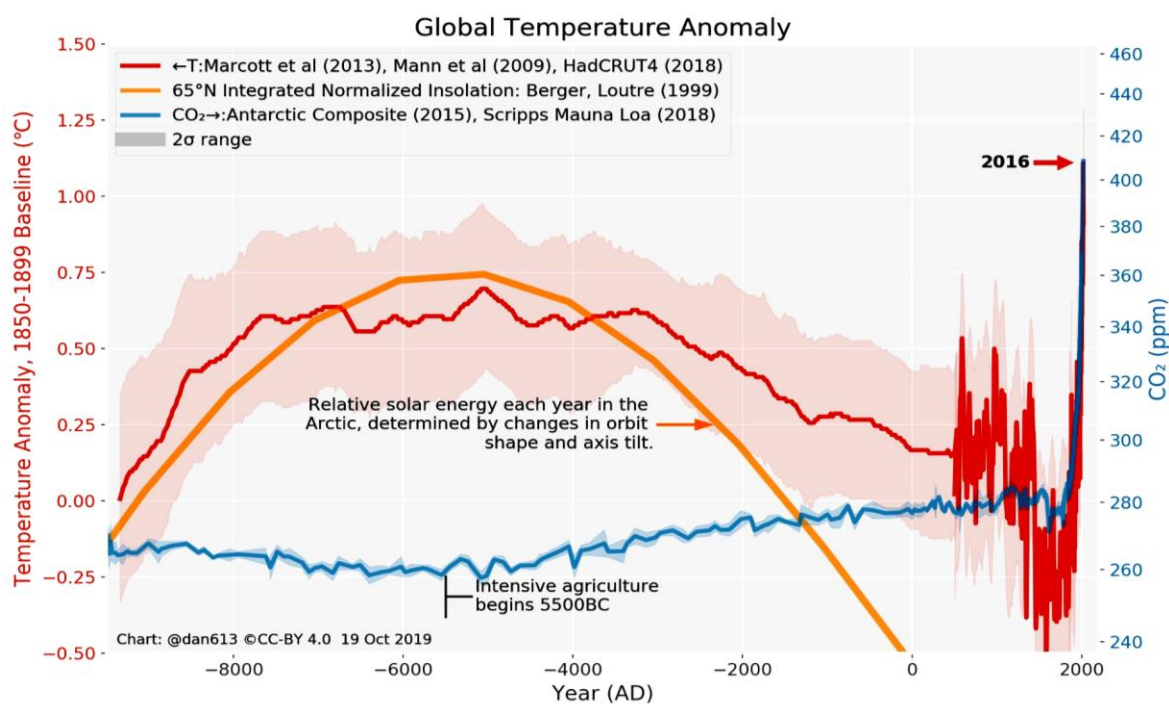
Geologic Timescale: Area of Continents Flooded, Concentration of CO₂ and Temperature fluctuations



1- Analysis of the Temperature Oscillations in Geological Eras by Dr. C. R. Scotese © 2002. 2- Ruddiman, W. F. 2001. *Earth's Climate: past and future*. W. H. Freeman & Sons. New York, NY. 3- Mark Pagani et al. *Marked Decline in Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations During the Paleocene*. *Science*; Vol. 309, No. 5734; pp. 600-603. 22 July 2005. 4- Ronov, A. B. 1994. *Phanerozoic Transgressions and Regressions on the Continents: A Quantitative Approach Based on Areas Flooded by the Sea and Areas of Marine and Continental Deposition*. *American Journal of Science* 294:777-801. 5- *Source for Nomenclature and Ages*: © 1999, The Geological Society of America. Product Code CTS004. Compilers: A. R. Palmer and John Geissman. *Conclusion and Interpretation*: Nasif Nahle © 2005, 2007, 2009. Corrected on 07 July 2008 (CO₂, Ordovician Period).

(forrás: rgsweather.com/2013/03/28/who-killed-spring-2013-suspect-6-climate-change/earth-climate-history-and-co2-levels/)

3–3,5 milliárd évre vonatkozóan vannak adatok. A legtávolabbi múltat illetően csak becslésszerű, de a jelenhez közeledve az utolsó ~500 millió évről, viszonylag egyre pontosabb információk állnak a kutatók rendelkezésére.



(<https://twitter.com/dan613/status/1203400283436523520/photo/1>)

Az utóbbi 10 000 év éghajlati anomáliái.

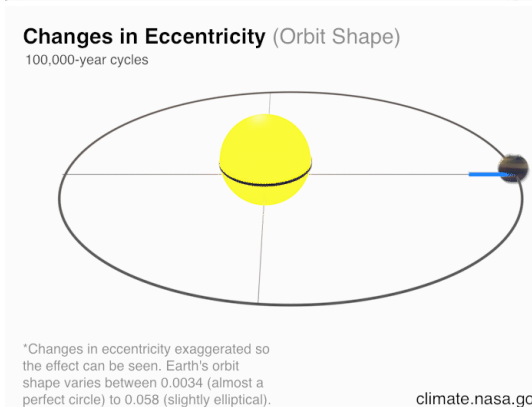
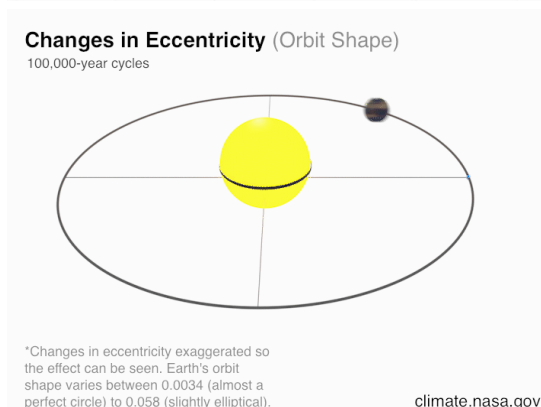
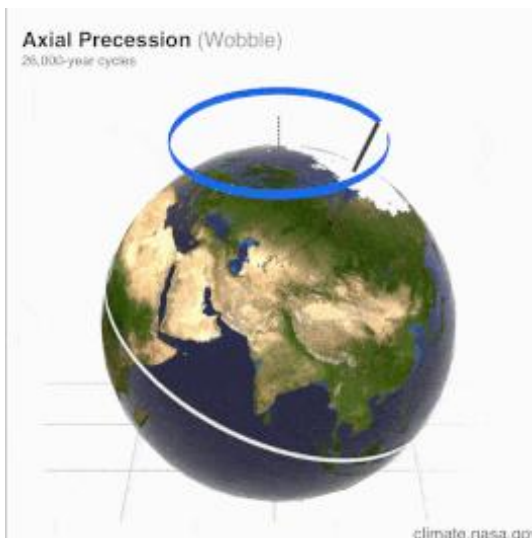
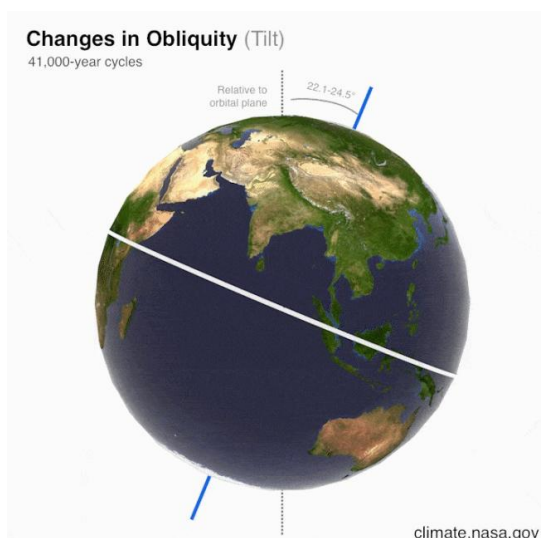
Az éghajlat változását alakító tényezők

Véletlenszerű és periodikus természetes változékonyságát (és változását) röviden összefoglalva a következő, rendszeren belüli folyamatok és külső kényszerek alakítják:

- A kontinensek elhelyezkedése (és vándorlása): a jégkorszakok során (amikor a Földön összefüggő jégtakaró és gleccserek találhatóak a sarkokon és a kontinenseken, mint napjainkban is) fontos tényező, hogy található-e a sarkokon kontinens, ami kedvez a jégtakaró kialakulásának. A kontinensek helyzete befolyásolja továbbá az óceáni és légköri cirkulációt és ezáltal a hőmérsékletet is.
- Hegységképződés: a kontinensek elhelyezkedése mellett a domborzat alakulása is jelentős szerepet tölt be az éghajlat alakításában. Az évmilliókig tartó hegységképződés kémiai folyamatokon keresztül, mint például a kőzetek mállása, hatással van a globális szén ciklusra és ezáltal az éghajlatra. A hegységek kiemelkedése továbbá befolyásolja a földi légkörcsereket. A magas hegyeken kialakuló hótakaró nagyobb albedója miatt a napsugárzás nagyobb részét visszaveri, mint a csupasz felszín, ezzel egy pozitív visszacsatolási folyamatot indít el, mert a hűtő hatás további hótakaró kialakulásához vezet, ami lehűlést eredményez.
- Vulkáni tevékenység: egy vulkánkitörés során nagy mennyiségű aeroszol, vulkáni hamu és üvegházhatású gáz kerülhet a légkörbe, mely hatással van többek között a napsugárzásra és a napfénytartamra, a hőmérsékletre és a csapadéokra is. Egy erőteljesebb vulkánkitörés, mint például a Pinatubo 1991-es kitörése körülbelül 0,1-0,3 °C-kal változtatta meg a felszínközeli átlaghőmérsékletet néhány évre.
- El Niño – Déli Oszcilláció (angol rövidítéssel ENSO) hatása: természetes éghajlati jelenség, amely a Csendes-óceán trópusi területén megy végbe. A Csendes-óceán trópusi régiójában általános esetben (középső helyzet) az egyenletes passzátszelek meleg felszínközeli tengervizet szállítanak keletről nyugatra, ennek helyére pedig hideg, tápanyagban gazdag tengervíz áramlik fel a mélyből. Az El Niño az átlagosnál gyengébb passzátszelek esetén fellépő meleg fázisa, a La Niña pedig az átlagosnál erősebb passzátszelek esetén fellépő hideg fázisa. Ez a jelenség nemcsak a Csendes-óceán, hanem bolygónk számos pontjának időjárására is hatással van és körülbelül 3-7 évente fordul elő. Az ENSO fontos szerepet játszik az éghajlat természetes változékonyságában.
- Napfoltciklusok: a vulkáni aktivitáshoz hasonlóan a naptevékenység is tud hosszabb távú változást okozni például a hőmérsékletben, vagy rövid távú ingadozást az átlag körül. A napfoltok erős mágneses aktivitású régiók a Nap fotoszférájában (a Nap látható felszínén, ez légkörének legalsó rétege).

A napfoltok számától függően az átlagos értékhez képest a tényleges Földre beérkező napsugárzás értéke 11 éves ciklusokban növekszik, illetve csökken. Az utolsó ciklus során például 0,1%-kal ingadozott az értéke. Mindemellett elhatárolhatók nagyon alacsony aktivitású, 50-100 éves időszakok, úgynevezett nagy szoláris (a Nappal kapcsolatos) minimumok mint például az 1645-1715 között észlelt Maunder Minimum. Egy nagy szoláris minimum 0,3 °C-os hűlést okozna néhány évre.

- A Föld pályaelem változásai: ide soroljuk a Föld forgástengely szögének változását (tengelyferdeség), a tengely ingását (precesszió) valamint a Naptól való távolságának kis mértékű változását, melyet a földpálya lapultságának változása (excentricitás) idéz elő. Ezen változások ciklikusan következnek be és befolyásolják a Földre érkező napenergia mennyiségét, ezáltal az átlaghőmérsékletet. Ezen ciklikussággal egybevágznak az elmúlt néhány százezer év során lezajlott, paleoklimatológiai vizsgálatokból kimutatott hőmérséklet ingadozások: az eljegesedések (glaciális időszakok) és a köztes, úgynevezett interglaciális időszakok. Ez a ciklikusság az úgynevezett Milankovič-ciklus.



(forrás: ábra: Szabó Amanda Imola meteorológus-éghajlatkutató:

Éghajlati rezsimváltás: nagyon gyorsan átkerülhetünk a jegesből a forróba.

<https://masfelfok.hu/2020/10/29/eghajlati-rezsimvaltas-nagyon-gyorsan-atkerulhetunk-a-jegesbol-a-forroba/>)

Az elmúlt 600 000 év alatt négy nagy jégkorszak volt, amelyek mindegyikében több eljegesedési csúcs volt. A legnagyobb eljegesedéskor a jégtakaró a Föld felszínének 9%-át foglalta el.

Napjainkban az állandó jégtakaró 3%-nyi.

A 19. század kutatói tanácstalanul álltak a probléma előtt, mert sokáig azt hitték, hogy Földünk éghajlata állandó volt, mivel az írott történelem erről tanúskodik.

A 20. század elején a kutatók arra a megállapításra jutottak, hogy sok köbkilométer jég felhalmozódásához nem általános lehűlés, hanem enyhe telek és hűvös nyarak évezredek át tartó folyamatos előfordulása, azaz az évszakok közötti különbségek csökkenése vezetett. Mivel az évszakokat a Föld forgástengelye és a Nap körüli keringés síkja által bezárt szögnek a merőlegetől való eltérése okozza, ezért a forgástengely irányának változásában lehet keresni az eljegesedések magyarázatát. A Föld Nap körüli keringési pályaelemeinek változását pedig a többi bolygó zavaró gravitációs hatása okozza.

Ezen okok keresésébe kezdett bele a Belgrádi Egyetemen Milutin Milanković. 1914-ben.

Szerinte a csillagászati ritmusszabályozásnak három összetevője van:

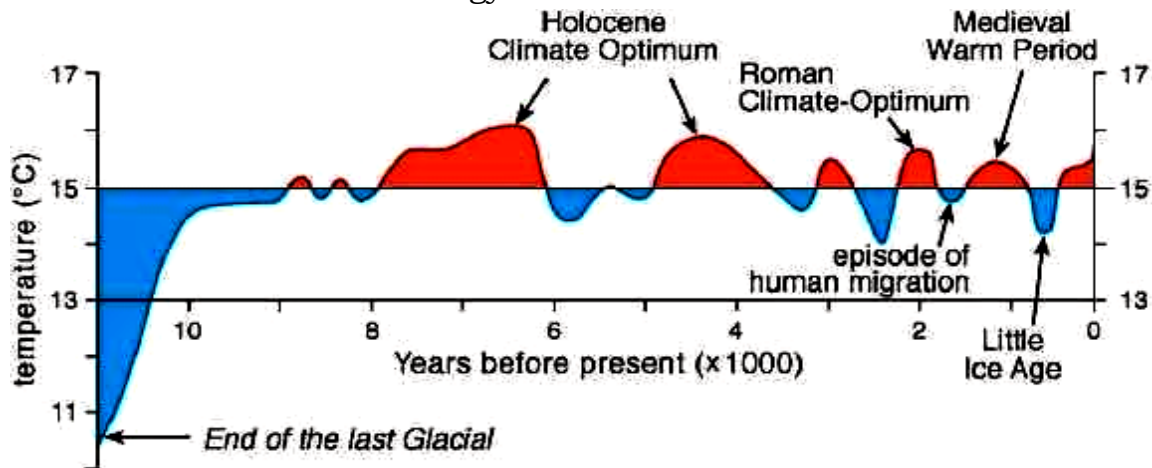
Az első a Föld forgástengelyének hajlásszögének a változása. Ez a szög 41 000 éves periódussal ingadozik 21,5 és 24,5 fokok között. Minél nagyobb a hajlásszög, annál szélsőségesebbek az évszakok mindkét félgömbön: a nyarak melegebbek, a telek pedig hidegebbek.

A második a Föld keringési pályájának alakja, amely 100 000 éves periódussal változik. Egyszer megnyúlik, és nagy excentricitású ellipszis alakját ölti, majd ismét szinte kör alakúvá válik. Ha nő az excentricitás, akkor nő a különbség a Nap és Föld legkisebb és legnagyobb távolsága között. Jelenleg a Föld akkor távolodik el legjobban a Naptól, amikor a déli félgömbön tél van, ennek következtében a déli félgömbön a tél valamivel hidegebb, a nyár viszont valamivel melegebb, mint az északi félgömbön.

A harmadik pedig a precesszió, vagyis a földtengely elmozdulása. A forgástengely 23 000 év alatt ír le egy teljes kört a csillagokhoz képest. A precesszió határozza meg, hogy egy adott félgömbön a nyár a földpálya napközeli vagy naptávoli pontjára esik-e, vagyis, hogy a Föld éghajlatának a tengely ferdesége miatti évszakosságát erősíti vagy gyengíti-e a pálya excentricitásából adódó évszakosság. Ha az évszakosság e két meghatározója (a tengelyferdeség és pályaeccentricitás) az egyik félgömbön szinkronban van egymással, akkor az ellentétes félgömbön aszinkronban kell lennie.

Milanković kiszámította, hogy e három tényező együttes hatására a nyári napsugárzás mennyisége az északi sarok közelében akár 20%-kal is változik. Ez pedig elegendő ok lehet az északi félteke szárazföldjének északi részét borító jégmező előrenyomulására, amikor hűvös nyarak és enyhe telek váltogatják egymást.

A szerb tudós kutatásait rendszerezte és egy táblázatban foglalta össze. Milanković táblázatában a felsorolt 9 eljegesedési csúcsra koncentrált, amelyek összes ideje a 600 000 éves időszak hatodát sem tette ki, és a nagyobb részt kitöltő interglaciálisokra – az eljegesedések közötti időszakokra – nem fordított figyelmet.



Average near-surface temperatures of the northern hemisphere during the past 11.000 years (after Dansgaard et al., 1969, and Schönwiese, 1995)

(forrás: www.researchgate.net/figure/Holocene-climate-variability-over-the-period-of-11000-years_fig1_320191078)

Az elmélet legelső megértője, magyarázója és alkalmazója a kiváló matematikai érzékekkel megáldott Bacsák György lett.

Összegezve eddigieket egy jégkorszak közi, interglaciális korban élünk, amelyben elkerülhetetlen a légkör melegedése. A Milanković – Bacsák-ciklus egyik összetevőjének ingadozása és a napsugárzás intenzitásának váltakozásával különféle események jönnek létre, pl. „kis jégkorszakot” okozó „Bond-esemény”, vagy a Római Birodalom felvirágzását hozó „Dansgaard-Oeschger-események” (A moréna üledékeiben végzett vizsgálatok nyolc olyan klíma szintet állapítottak meg, amelyek 1470 évenként ciklikusan ismétlődnek. >Bond et al. 1999<. E szabályos időközönként ismétlődő jelenségek lehűlési klímacyklusokat mutatnak.).

Jelenleg egy melegedő „Dansgaard-Oeschger-esemény”-ben élünk (Az éghajlat vadul váltakozik oda-vissza két hőmérsékleti állapot között, több nagy globális változás történt, melyek pár évtized alatt igen gyorsan zajlottak le.), amelyet az emberi úton nagy mennyiségben a légkörbe juttatott üvegházhatású gázok felgyorsítanak.

Alapvetően nem nevezhetjük az emberiség okozta eseménynek, a Földön időjárási periodicitás játszódik le, erős emberi sebesség fokozással.

(forrás: Hágen András: Klímaváltozás vagy interglaciális? 2017.

https://pangea.blog.hu/2017/06/13/klimavaltozas_vagy_interglacialis?)

A Melbourne-i Egyetem új kutatása kimutatta, hogy a jégkorszakok az elmúlt millió évben akkor értek véget, amikor a Föld tengelyének dőlési szöge nagyobb lett.

Ilyenkor a hosszabb és melegebb nyarak elolvasztották az északi félteke jégtakaróit, a Földön interglaciális, vagyis melegebb időszakot idézve elő. Ezt tapasztaljuk az elmúlt 11 ezer évben.

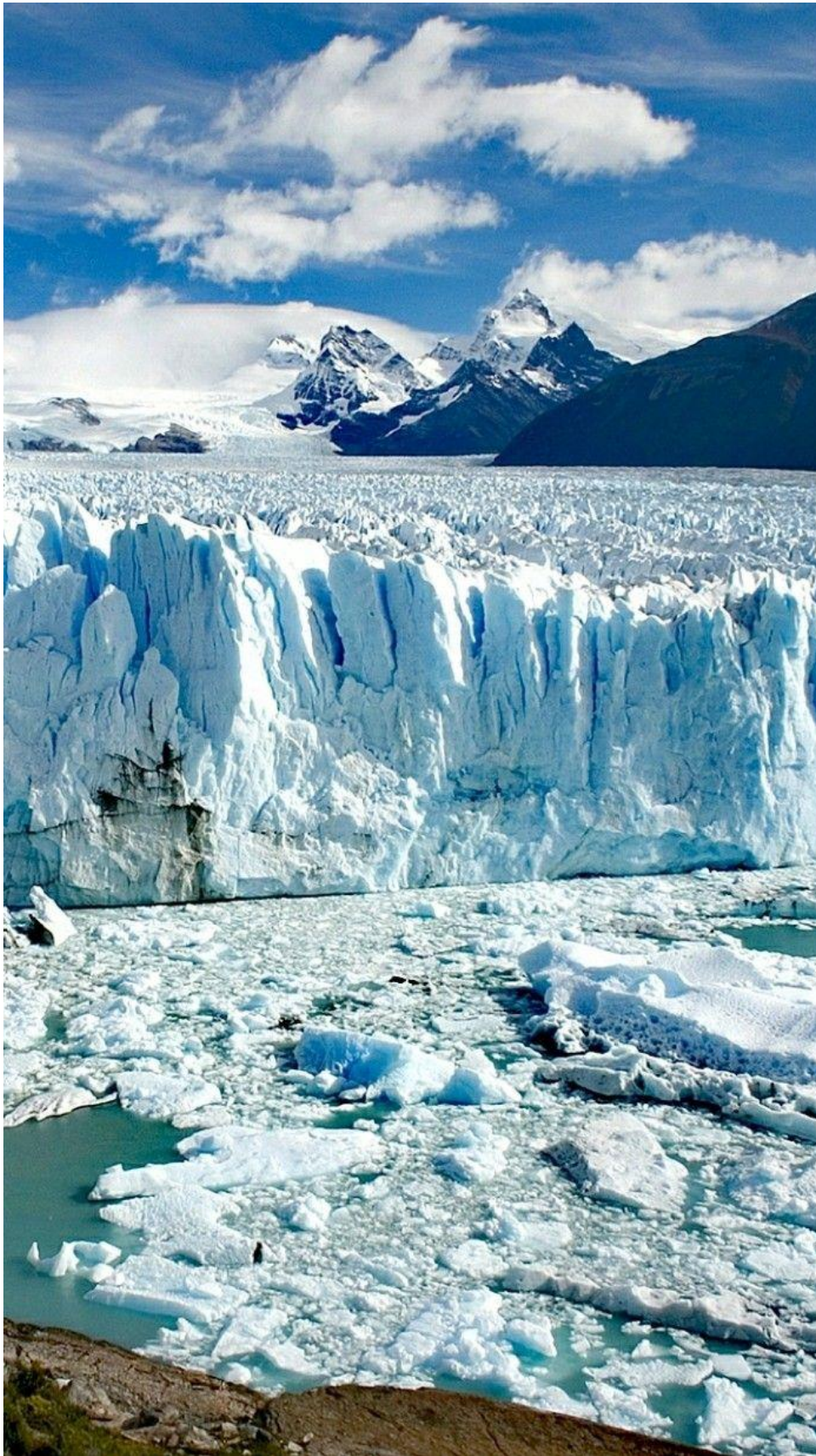


(forrás: fotó: Linda Tegg, <https://phys.org/news/2020-03-ice-age.html>)
Galleria delle Stalattiti, Corchia barlang.

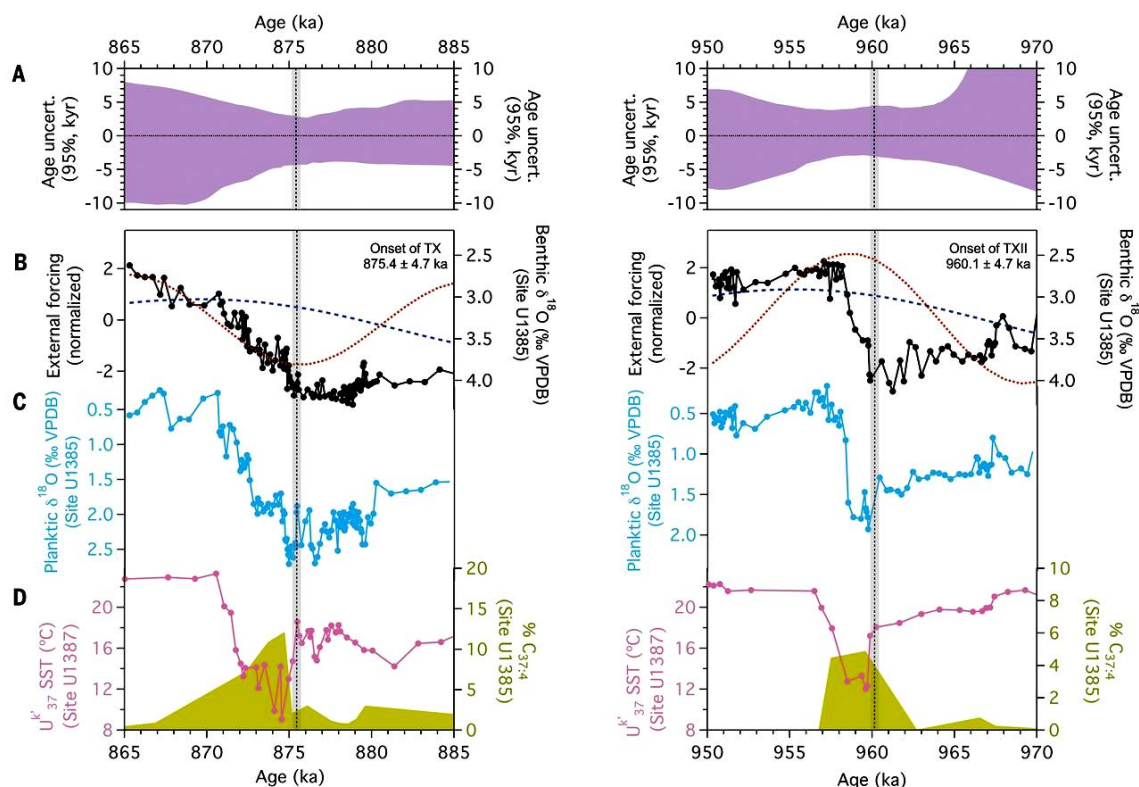
A cseppkövek növekedési rétegeiből ugyanazokat a változásokat azonosították, mint az óceáni üledékből. Ez lehetővé tette, hogy a cseppkövek koráról szóló adatokat az üledékre alkalmazzák, mert az utóbbi korát nem lehet meghatározni.



A kutatócsoport olaszországi cseppkőbarlangok és a portugál parti vizekből vett óceáni üledékminták adatait vetette össze.

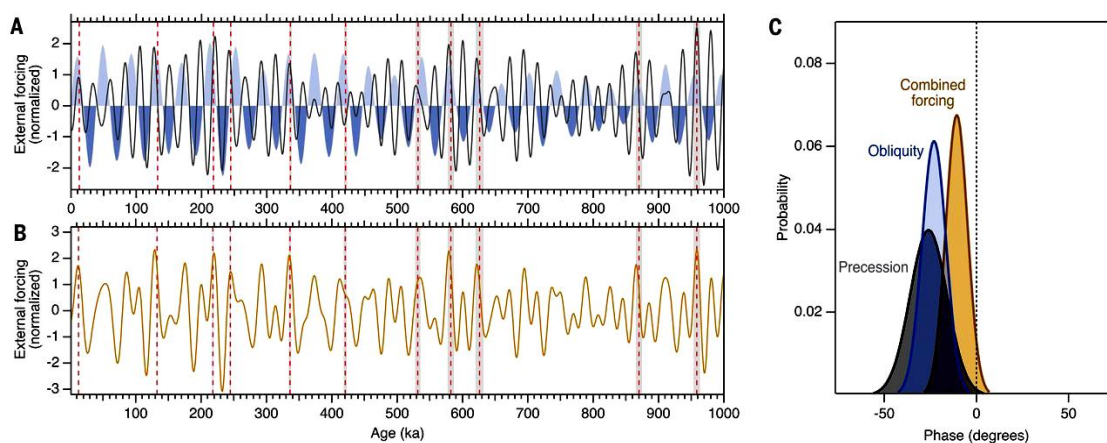


(forrás: hu.pinterest.com/pin/797700152721563113/)



A radiometrikus kormeghatározás új technológiájával a nemzetközi kutatócsoport két oladási időszakot állapított meg, az egyik a 960 ezer, a másik a 875 ezer évvel ezelőtt véget ért jégkorszaké.

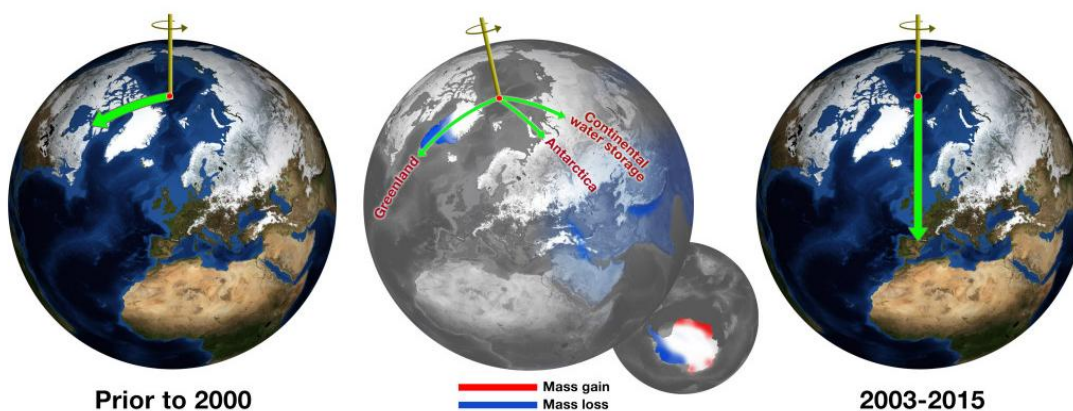
A két oladási időszak kezdete egybeesik a Föld tengelyferdesége szögének növekedésével. A növekedés melegebb nyarakat hozott azokon a területeken, ahol az északi félteke jégmezői húzódtak.



A 11 végződési középpont és normalizált orbitális és inszolációs mérőszámok.

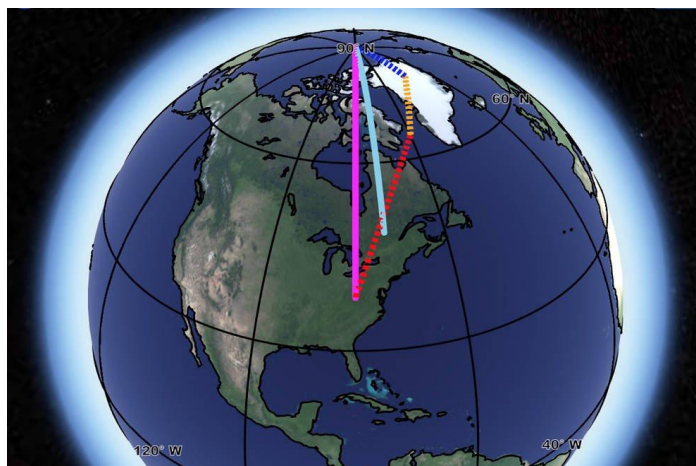
(forrás: Bajo, P., Drysdale, R. N., Woodhead, J. D., Hellstrom, J. C., Hodell, D., Ferretti, P., Voelker, A. H. L., Zanchetta, G., Rodrigues, T., Wolff, E., Tyler, J., Frisia, S., Spotl, C. & Fallick, A. E. (2020). Persistent influence of obliquity on ice age terminations since the Middle Pleistocene transition. SCIENCE, 367 (6483), pp.1235., <https://doi.org/10.1126/science.aaw1114>)

A 2000-es évek környékén bolygónk forgási tengelye drámaian megváltozott: kelet felé vette az irányt, most pedig kétszer olyan gyorsan halad, mint korábban – közel 17 centimétert évente. Adhikari szerint „Már nem a Hudson-öböl irányába tart, hanem helyette a Brit-szigetek felé.”



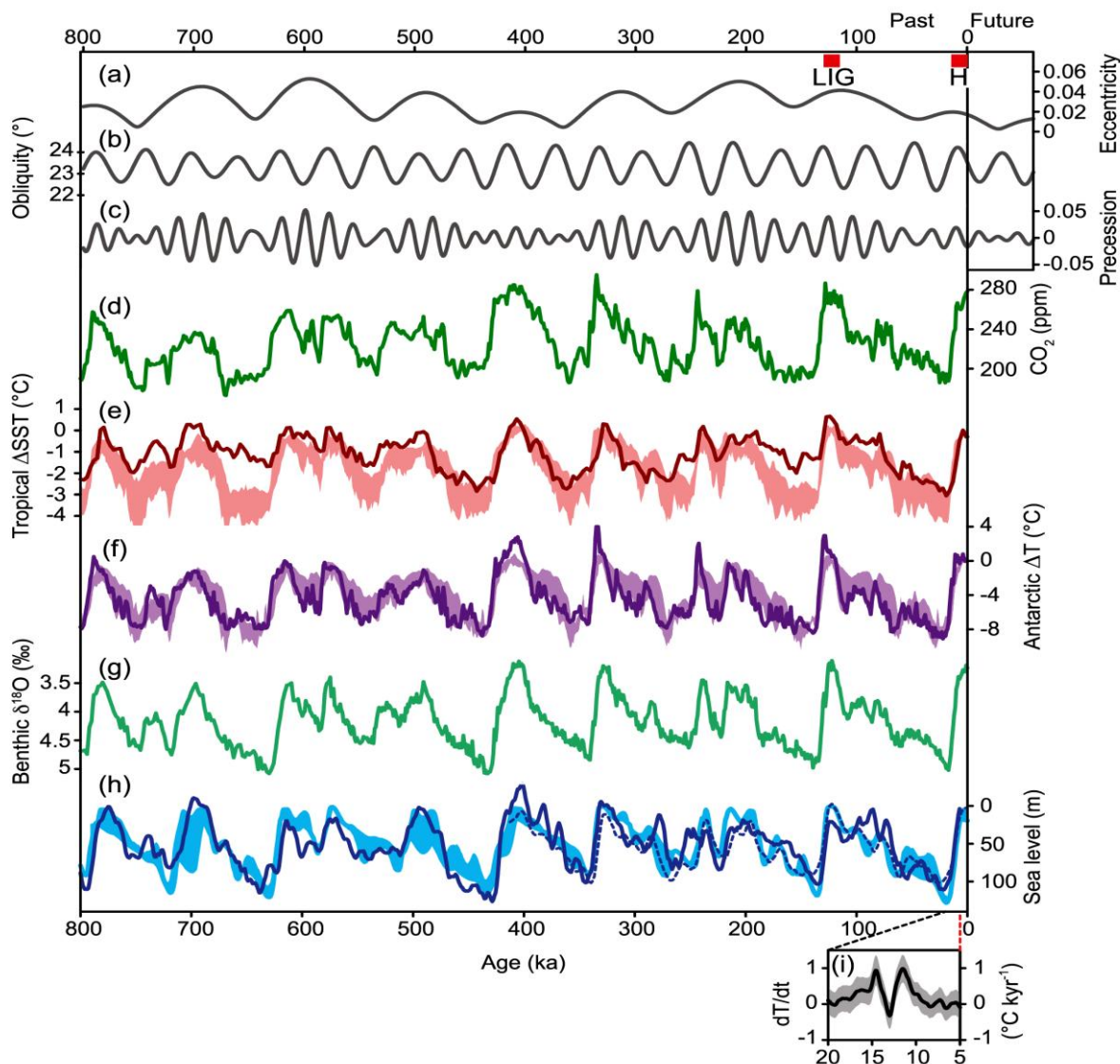
(forrás: <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-study-solves-two-mysteries-about-wobbling-earth>, és <https://elteonline.hu/tudomany/2016/04/30/foldunk-rakoncatlan-forgasi-tengelyenek-rejtelye/>)

Körülbelül 2000 előtt a Föld forgási tengelye Kanada irányába vándorolt (zöld nyíl, baloldali kép). A JPL kutatói megbecsülték a víztömegvesztés alakulását a különböző régiókban (középső ábra), ami keleti irányába módosítja az axis mozgását és felgyorsítja azt (jobboldali ábra).



(forrás: qubit.hu/2018/09/25/a-nasa-szerint-az-emberiseg-miatt-mozdult-el-a-fold-forgasi-tengelye, és www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012821X18305314?dgcid=rss_sd_all#, és vesl.jpl.nasa.gov/sea-level/polar-motion/)

A kaliforniai Jet Propulsion Lab munkatársai mélyelemzésnek vetették alá az elmúlt évszázadban felhalmozott, az utolsó évtizedekben műholdakkal is segített mérések eredményeit, és meglepő eredményre jutottak. A Föld forgási tengelye a 20. század kezdetétől napjainkig 10 métert vándorolt nyugati irányba. A bolygó felszín alatti zajló, a domborzatot is alakító folyamatai, illetve a vízkészletek eltérő halmazállapotai és elhelyezkedései miatt a forgástengely imbolygása természetes jelenség ugyan, de ilyen rövid idő alatt ekkora változás, több mint figyelemre méltó.



(forrás: IPCC Ötödik Értékelő Jelentés,
www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/information-from-paleoclimate-archives/ és
<https://masfelfok.hu/2020/10/29/eghajlati-rezsimvaltas-nagyon-gyorsan-atkerulhetunk-a-jegesbol-a-forroba/>)

A Föld pályaelem változásai és proxy adatok az elmúlt 800 ezer évre vonatkozólag: a.) excentricitás b.) ferdeség c.) precesszió d.) légköri CO₂ koncentráció Antarktisi jégfurat minták alapján e.) trópusi tengerfelszín hőmérséklete f.) Antarktisi hőmérséklet hét jégfurat minta alapján g.) globális jégtömeg és mélytengeri hőmérséklet h.) tengerszint i.) globális átlaghőmérséklet változása.

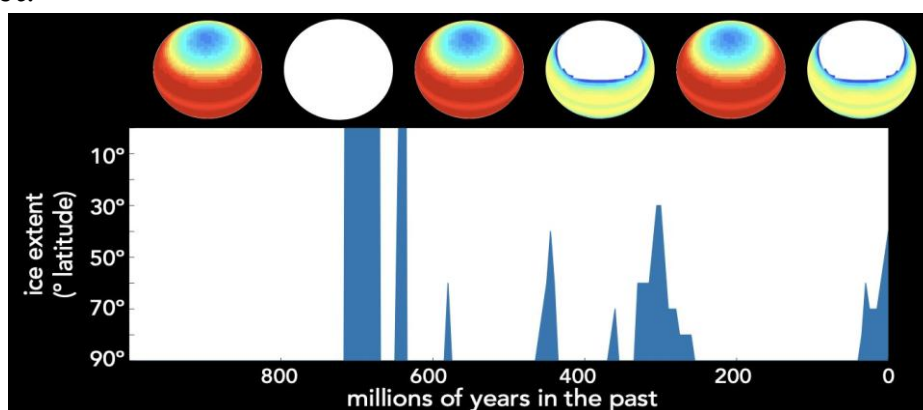
A tengelyferdeség körülbelül 40 ezer évente oda-vissza mintegy 1,25 fokok kilengést mutat. Lassú folyamat ez, nyilván a nappalok hosszának változását csak műszerek segítségével érzékelnénk. A bolygó egészét érő napenergia sem változik eközben, de az egyes övezetek klimatikus viszonyai már különböznek.

A kilengés csúcán, a Föld pályasíkja és forgástengelye között 24 fokos szögnél az egyenlítő kevesebb energiát kap, vagyis csökkennek az övezetes különbségek. A függőlegeshez közelebbi, 22,5 fokos tengelydőlésnél viszont a mainál is nagyobbak lesznek különbségek. Sok egyéb tényező is közrejátszik, de ennek az apró ingadozásnak is köszönhetjük a jégkorszakokat – más fogalomkörben, a ma is fennálló jégkorszakon belüli hideg időszakokat – és a felmelegedéseket.



(forrás: Photography By: Ian Joughin, Melt Water Rushing, Greenland
www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2240917/Polar-ice-sheets-melting-times-faster-just-decades-ago.html)

Körülbelül 5500 év múlva köszöntenek be azok a körülmények, amelyeket a jégkorszak ciklusból ismerünk. Más kérdés, hogy az ember okozta globális felmelegedés akár évszázadokkal is kitolhatja a “csúcspontot” és a jegesedés kezdetét.



(forrás: phys.org/news/2019-03-tectonics-tropics-trigger-earth-ice.html)

Nem tudjuk, meddig tart még a jégkorszak, mindenesetre érdekes, hogy ha a bolygónk keletkezésétől számított 4,6 milliárd évet nézzük, ezen idő 90 százalékában a klíma a mainál jóval melegebb volt, jégnek nyoma sem látszott (ábrán az elmúlt egy milliárd év látható, jégmentes a fehér terület).

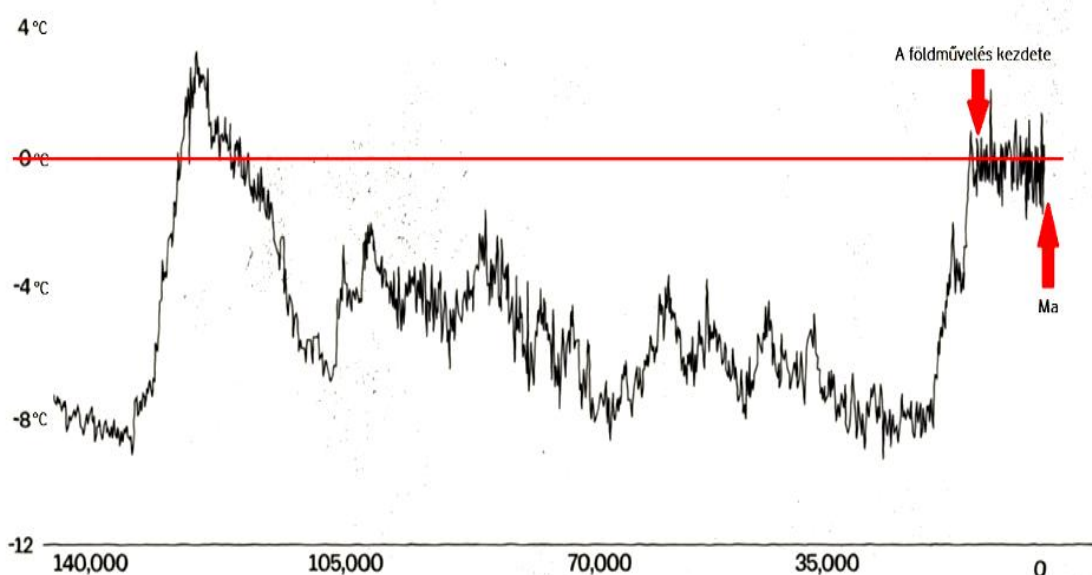
A tengelyferdeség változása nemcsak az övezetek, de a tél és a nyár közötti hőmérsékletkülönbséget is befolyásolja. Minél jobban dől a Föld nyáron a „Nap felé”, annál nagyobb szögben érik a napsugarak a nyári féltekét, annál inkább képesek felmelegíteni a felszínt. Mindez persze fordítva is igaz, télen laposabban süt ilyenkor a nap és ez még hidegebb telet eredményez.

Összességében tehát fokozódik az évszakok közötti különbség.

Ezen belül, mivel a szárazföldek gyorsabban melegsznek, mint a víz, a kontinensek többségének otthont adó északi földtekén sokkal nagyobb éves hőingás mutatkozik, mint a délin, az iménti eltérés is a mi északi félgömbünkön lesz markánsabb.

Végezetül jegyezzük meg: a Föld dőlésszögének lassú ingadozása nagyban befolyásolja ugyan a klímát, de önmagában lassú ahhoz, hogy már történelmi léptékben tragédiát okozzon. Az emberi tevékenység okozta éghajlatváltozás ennél kisebb, de sokkal gyorsabb.

(forrás: Bihari Dániel: Billeg a Föld, a jég már a kapuk előtt, tudomany/2015/09/27/billeg-a-fold-a-jeg-mar-a-kapuk-elott/)



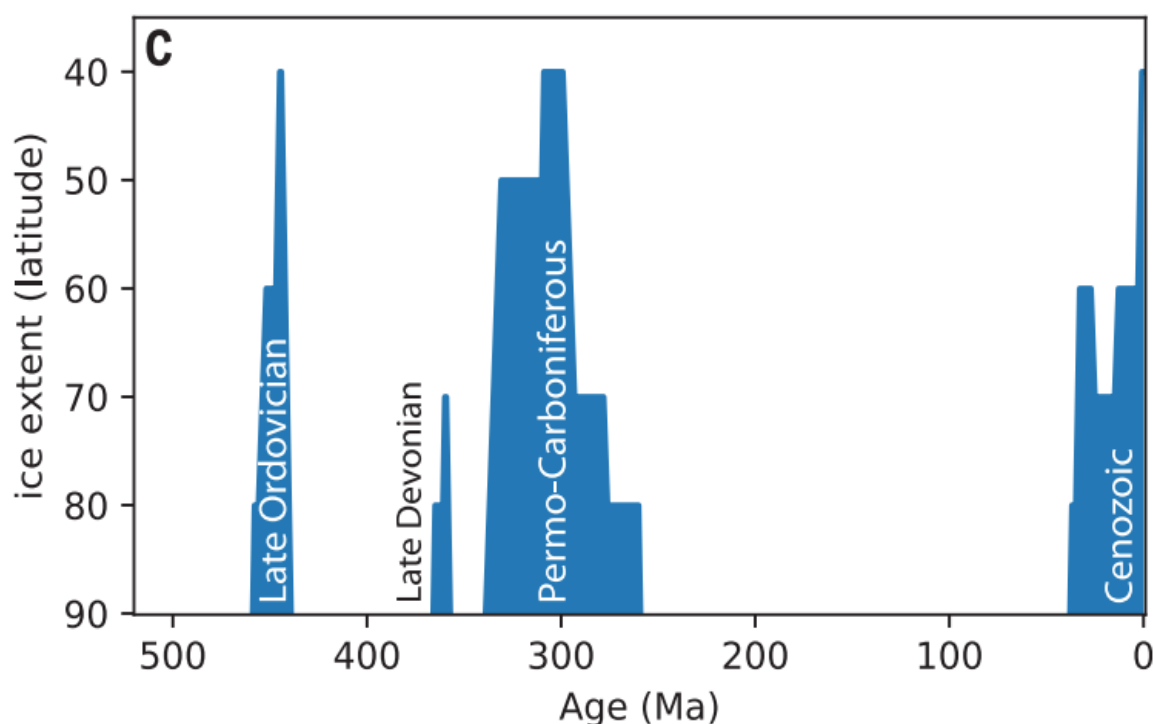
(forrás: www.fna.hu/vilagfigyelo/eghajlatvaltozas)

W. Dansgaard és kutatótársai által Grönlandon végzett két, egyenként 3 km-es mélyfúrás adta. Az így szerzett jég- és üledékminták révén kb. 110 000 évre visszamenő éghajlati információhoz jutottak. A legutóbbi 10 000 évben, a megelőző 100 000 évhez képest, a Föld éghajlata nemcsak enyhe, hanem bámulatosan stabil és változatlan volt. Csak egyetlen kis kitérés történt kb. 8 000 évvel ezelőtt. Ezzel szemben a megelőző időszakot az jellemezte, hogy az éghajlat vadul váltakozott oda-vissza egy nagyon hideg és egy maihoz képest közepesen hideg állapot között. kb. 20 nagy globális változás (Dansgaard-Oeschger esemény) történt, melyek pár évtized alatt (igen gyorsan) zajlottak le.

Trópusi „vulkáni-ív sziget és kontinens ütközések” előzték meg az utolsó három nagy jégkorszak mindegyikét.

A Massachusetts Institute of Technology (MIT), a Santa Barbara-i Kaliforniai Egyetem és a Berkeley-i Kaliforniai Egyetem tudósai azonosították a jégkorszakok valószínű kiváltó okát.

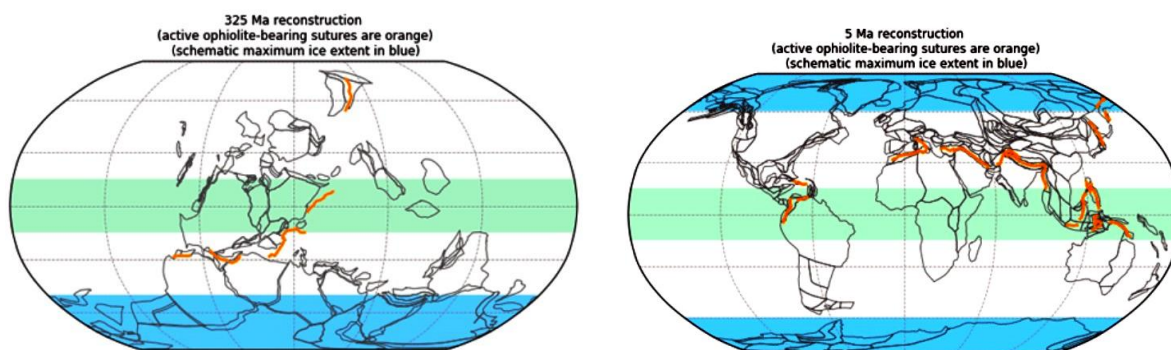
A Science-ben megjelent tanulmányban a csapat arról számolt be, hogy az új kutatások szerint a trópusokon a vulkáni ívek és a kontinensek közötti ütközések jelenléte vagy hiánya hosszú távú tendenciákat határoz meg a Föld éghajlatában.



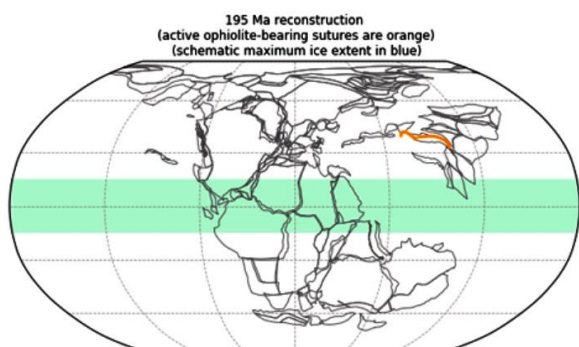
(forrás: Francis A. Macdonald, Nicholas L. Swanson-Hysell, Yuem Park, Lorraine Lisiecki, Oliver Jagoutz: Arc-continent collisions in the tropics set Earth's climate state, *Science* 12 Apr 2019: Vol. 364, Issue 6436, pp. 181-184, DOI: 10.1126/science.aav5300, [https:// science.sciencemag.org/content/364/6436/181/tab-pdf](https://science.sciencemag.org/content/364/6436/181/tab-pdf), phys.org/news/2019-03-tectonics-tropics-trigger-earth-ice.html)

Az elmúlt 540 millió évben három olyan időszakot azonosítottak, amikor a trópusokon jelentős, mintegy 10 000 kilométer hosszú ütközési varratvonalak (szutúra) alakultak ki. Ezek az időszakok egybeestek mindhárom jelentős, jól ismert jégkorszakkal, amikor a globális hőmérséklet zuhant, kiterjedt jégtakarókat és gleccsereket termelve, amelyek túlnyúltak a sarki sapkákon.

Kevesebb, mint 1 százalékos esély volt arra, hogy a események véletlennek bizonyuljanak.



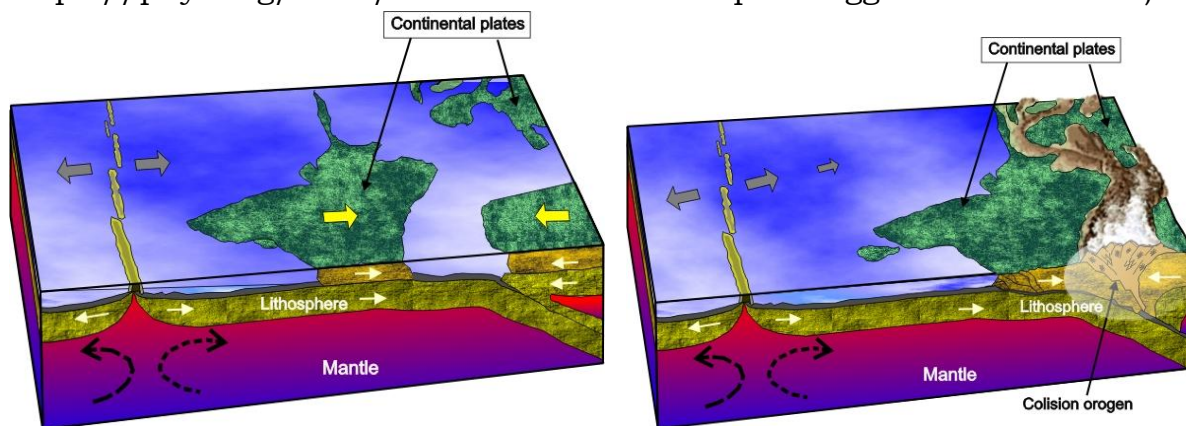
Az elmúlt 500 millió évben a lemeztektonika mozgása a kontinensek, elkerülhetetlen ütközését okozta. Amikor ütközések vulkanikus sziget ívekkel történtek a trópusokon (zöld sáv), akkor a felszínre torlódott ophiolite sziklák (narancs), lekötötték a szén-dioxidot a légkörből, ami globális lehűléshez és jégképződéshez vezetett (kék).



A kutatók megállapították hogy, nem voltak jégkorszakok vagy gleccser események azokban az időszakokban, amikor nagy varrat zónák a trópusokon kívül alakultak.

Föld az komplex élet első megjelenése óta az 75 százalékában jégmentes volt.

(forrás: Nicholas Swanson-Hysell, UC Berkeley, <https://phys.org/news/2019-03-tectonics-tropics-trigger-earth-ice.html>)

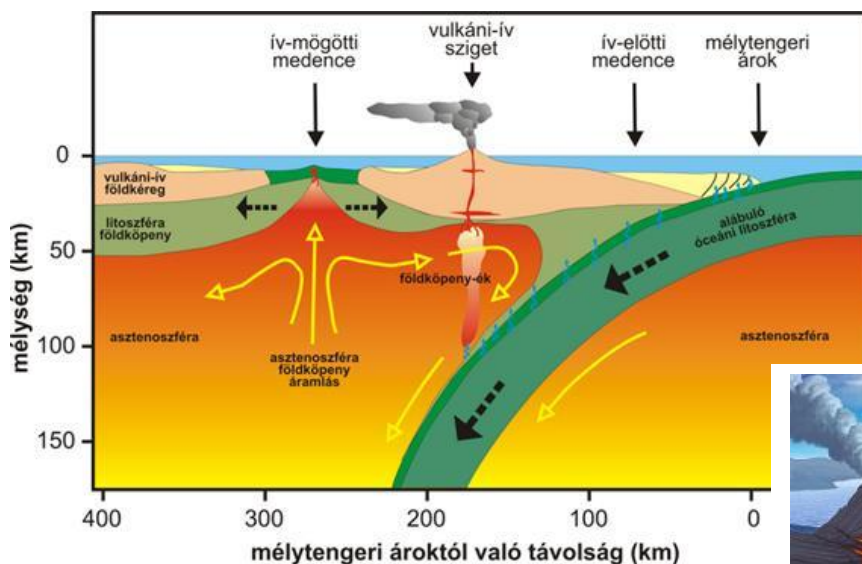


(www.geo.fu-berlin.de/en/v/geolearning/mountain_building/metamorphism/generation_types_metamorphism/collision_metamorphism/index.html)

Macdonald felhívta a figyelmet: „Gyakran gondolkodunk arra, hogy a Föld mindig olyan volt mint amelyet most látunk. De a bolygó története egészen más volt.”

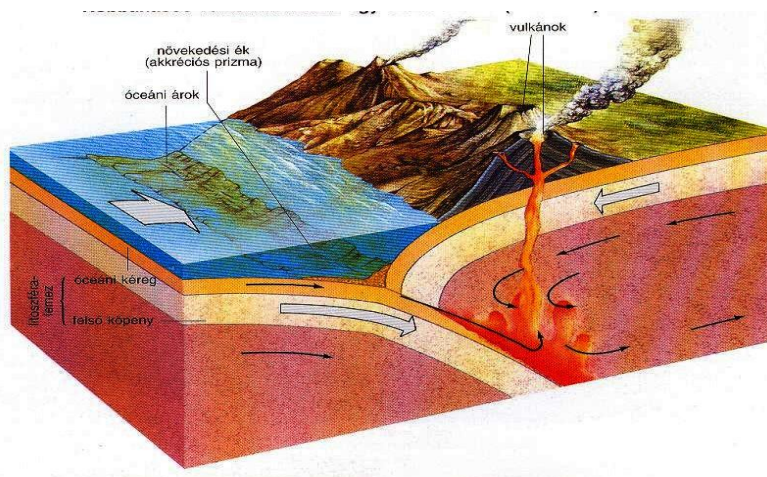
A kontinentális perem mentén vulkánok emelkedtek. A vulkáni ívek párhuzamosan alakulnak ki a szubdukciós zónákkal. Amint az egyik leereszkedik egy másik lemez alá, felmelegszik, és magmává válik. A magma a kéregben emelkedik, amíg el nem éri a felületet. Ez a magma létrehoz egy vulkánláncot vagy egy vulkáni ívet a felső lemez határánál.

Kétféle ív létezik: szigeti ívek és a kontinentális ívek.



(forrás: regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop0073_magmas_kozetek/ch02s04.html, és leonelo100.weebly.com/convergent-boundaries.html)

Vulkáni szigetivet létrehozó kőzetalábukási öv (szubdukciós zóna) keresztmetsvénye. Óceáni kőzetlemez bukik kontinentális kőzetlemez alá.

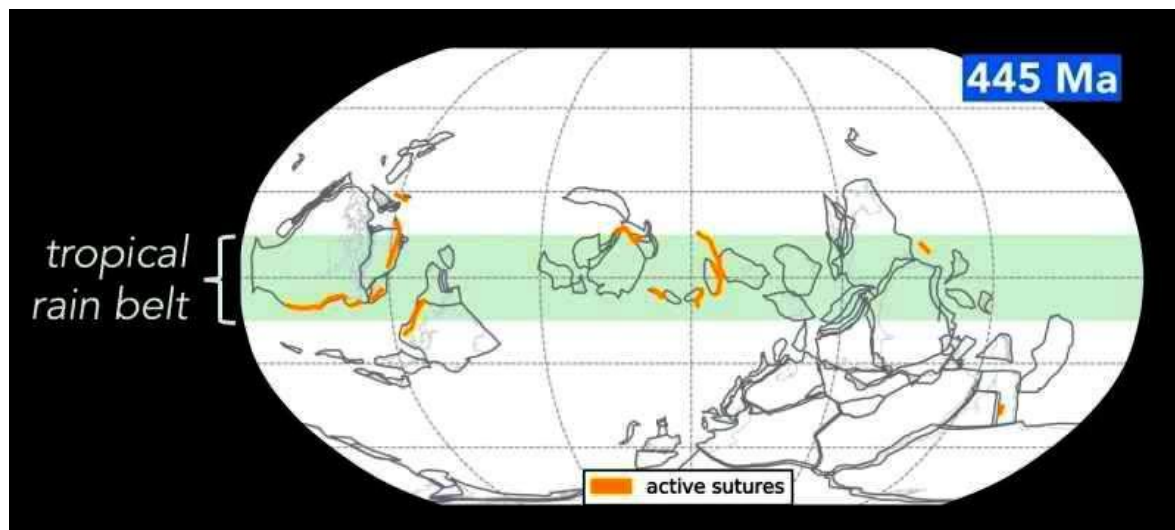


Egy óceáni és egy szárazföldi kőzetlemez ütközésekor az alábukás miatt az andezites-riolitos vulkáni tevékenység az uralkodó folyamat. Az óceáni lemezen szállított üledék egy része a szárazföldi lemez pereméhez gyűródik.

(forrás: www.eszi.hu/pages/innovativ/verseny/verseny11b/vulk.html)

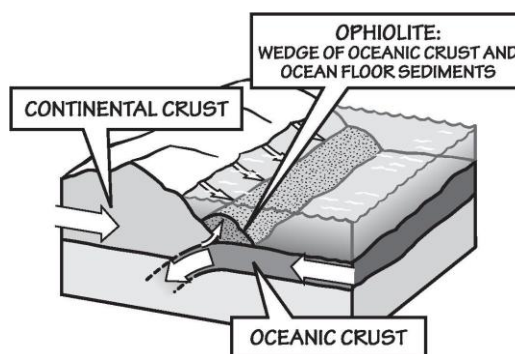
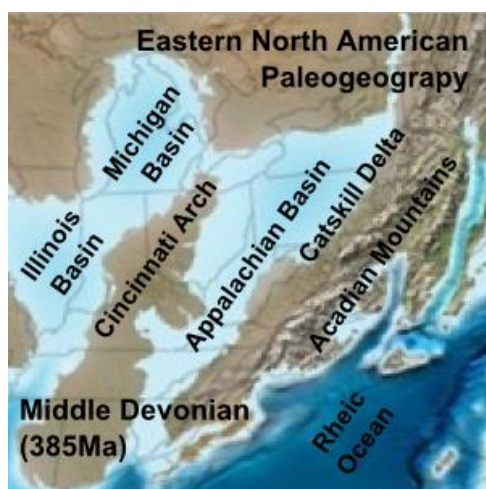
A magmás folyamatok keresztmetszeti diagramja kontinentális ívben.

A Föld egyenlítője közelében bekövetkezett tektonikus halmozódások, amelyekben az óceáni lemezek felgyűrődtek a kontinentális lemezek fölé, több tízezer kilométer hosszúságban óceáni kőzet halmoztak fel egy trópusi környezetben.



(forrás: Nicholas Swanson-Hysell, UC Berkeley, <https://phys.org/news/2019-03-tectonics-tropics-trigger-earth-ice.html>, és <https://vcresearch.berkeley.edu/news/ice-ages-triggered-when-tropical-islands-and-continents-collide>, és https://vcresearch.berkeley.edu/sites/default/files/inline-images/reconstruction_ice585.gif)

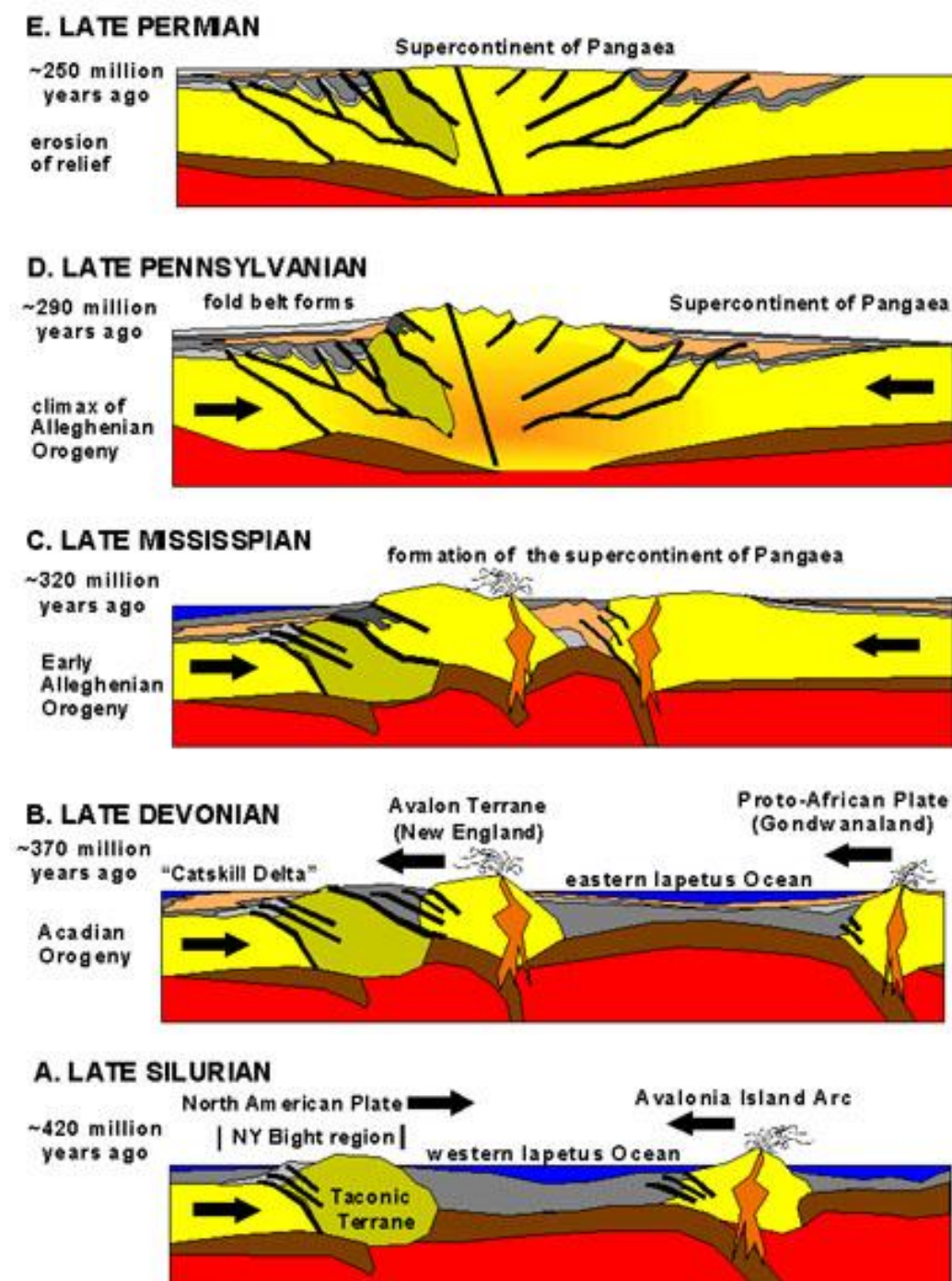
445 millió évvel ezelőtt, az Észak-Amerikává váló kontinens (ábra bal szélén) a trópusi övezetben volt, ahol a keleti-partján egy sziget ív - kontinens ütközés hozta létre az Appalache-hegységet. Ez az ütközés felemelte a széndioxidot elnyelő kőzeteket. A folyamat több millió évig tartott.



Paleogeográfiai rekonstrukció, amely az Appalache-medence területét mutatja a közép-devon időszakban.

(forrás: commons.wikimedia.org/wiki/File:Ophiolite_Formation.pdf, és en.wikipedia.org/wiki/Appalachian_Mountains)

A középső ordoviciai időszakban (körülbelül 458-470 millió évvel ezelőtt) a lemezmozgások változása meghozta az első paleozoikumi hegyláncokat (Taconic orogeny) Észak-Amerikában. Az egykor csendes appalache-i passzív perem nagyon aktív lemezhatárra változott, amikor egy szomszédos óceáni lemez, a Iapetus óceánban összeütközött és süllyedni kezdett az észak-amerikai kraton alatt. Ennek az új szubdukciós zónának a keletkezésével megszületett a korai Appalachia régió.



(forrás: commons.wikimedia.org/wiki/File:Appalachian_orogeny.jpg)

Az ív - kontinens ütközések során a vulkáni ívek a kontinensekbe kerülnek, „ophiolite”-ket hozva létre, amelyek a gyűrődési zónák mentén maradnak meg.

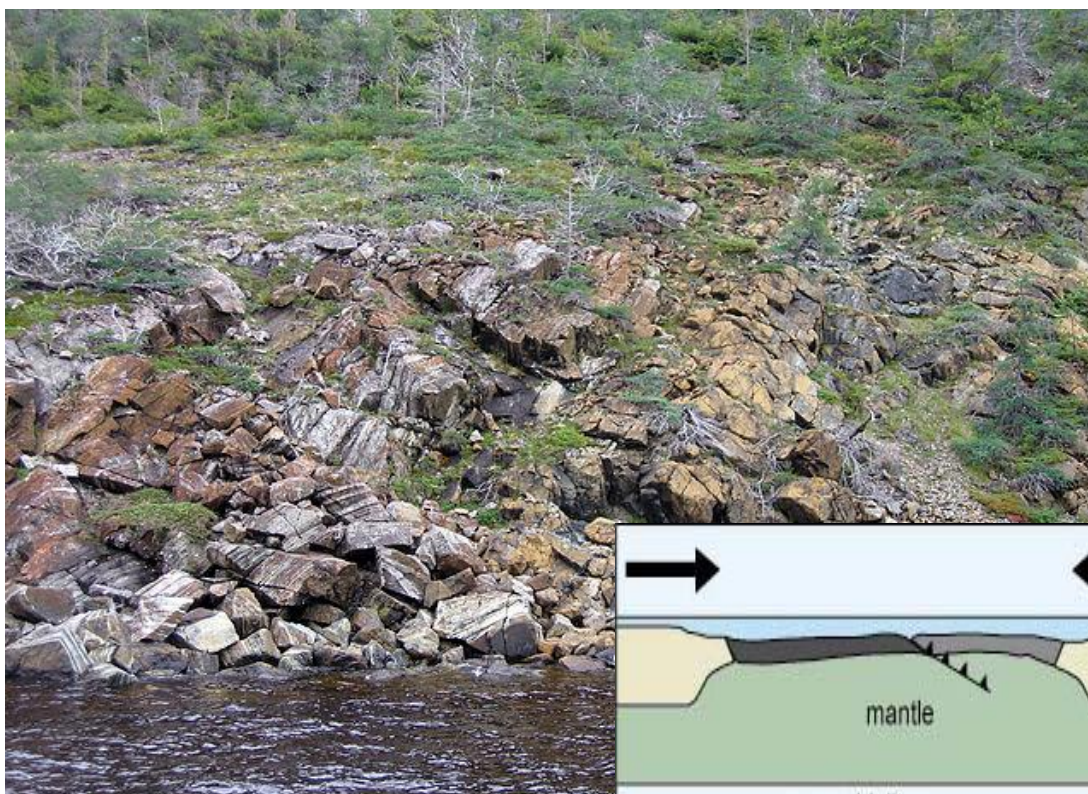
Az ívek és az ophiolite ívek túlnyomórészt bazaltból és ultramafic kőzetből állnak, amelyek Ca- ban és Mg-ban gazdagok és hatékonyak a CO₂ elnyelésben.

Ezek a szén-dioxid-elnyelők nem oszlanak el egyenletesen.

Például jelentősebb szerepe van Indonézia szigetvilágának, amely a Föld szárazföldi területének csak 1 – 2 százaléka, ám a jelenlegi geológiai szén-dioxid-elnyelőnek körülbelül 10 százalékát teszi ki.

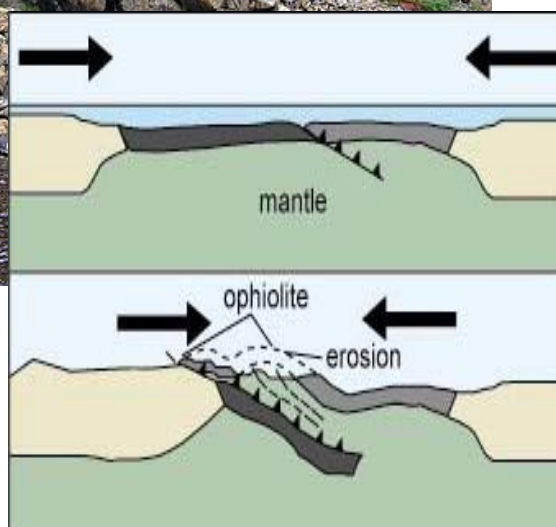
Ez a trópusi zóna magában foglalja, a legnagyobb ofiolit területeket a világon, és jelenleg az egyik leghatékonyabb régió a szén-dioxid elnyelő a Földön.

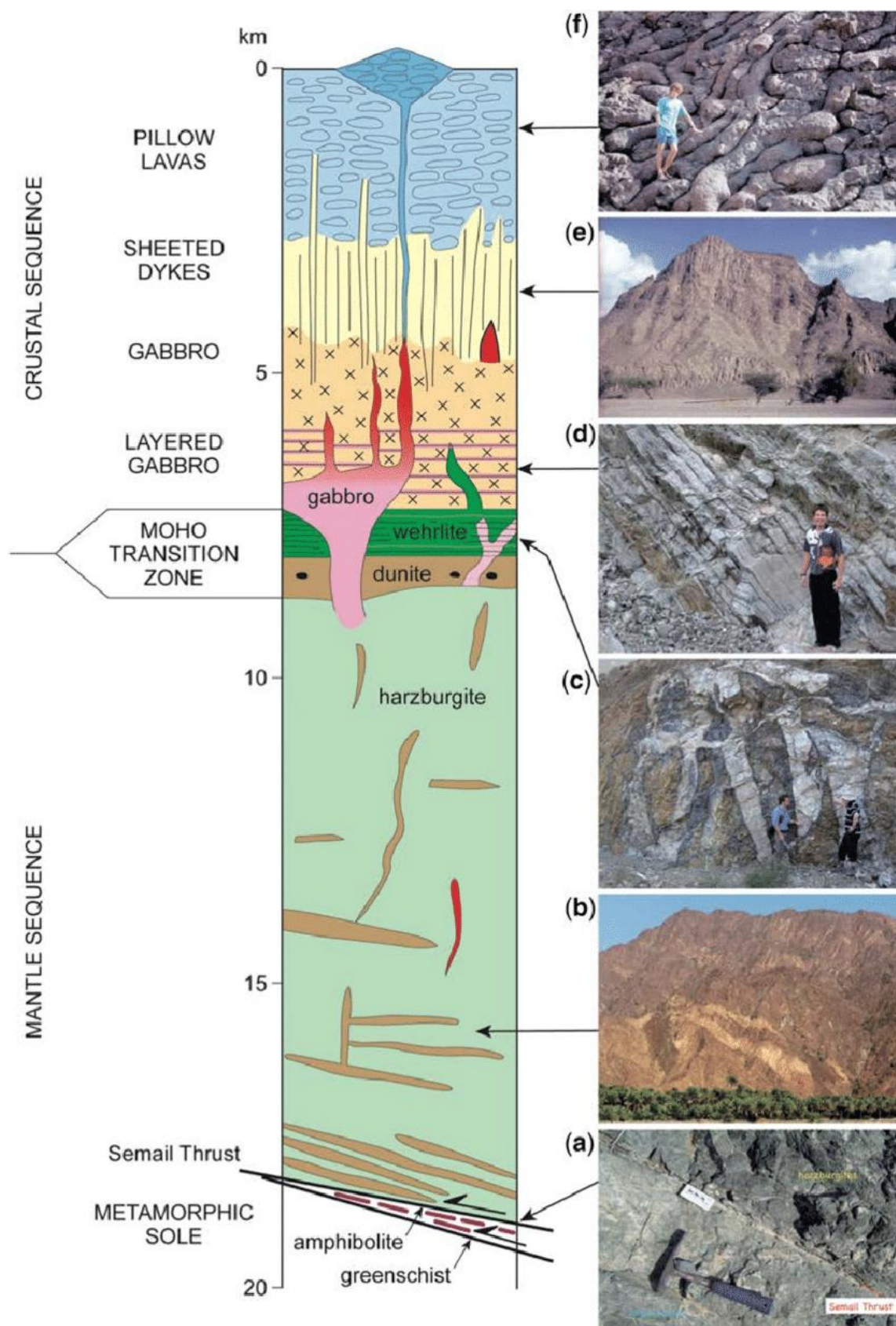
A légkör szén-dioxid szintjének emelkedésének csökkentésére egyes tudósok azt javasolták, hogy a hatalmas mennyiségű ofiolit kitermelésével és az ásványi anyagok szétterjesztésével az egész egyenlítői öv területén, gyorsítsák fel ezt a természetes hűtési folyamatot a globális felmelegedés szabályozása céljából.



(forrás:

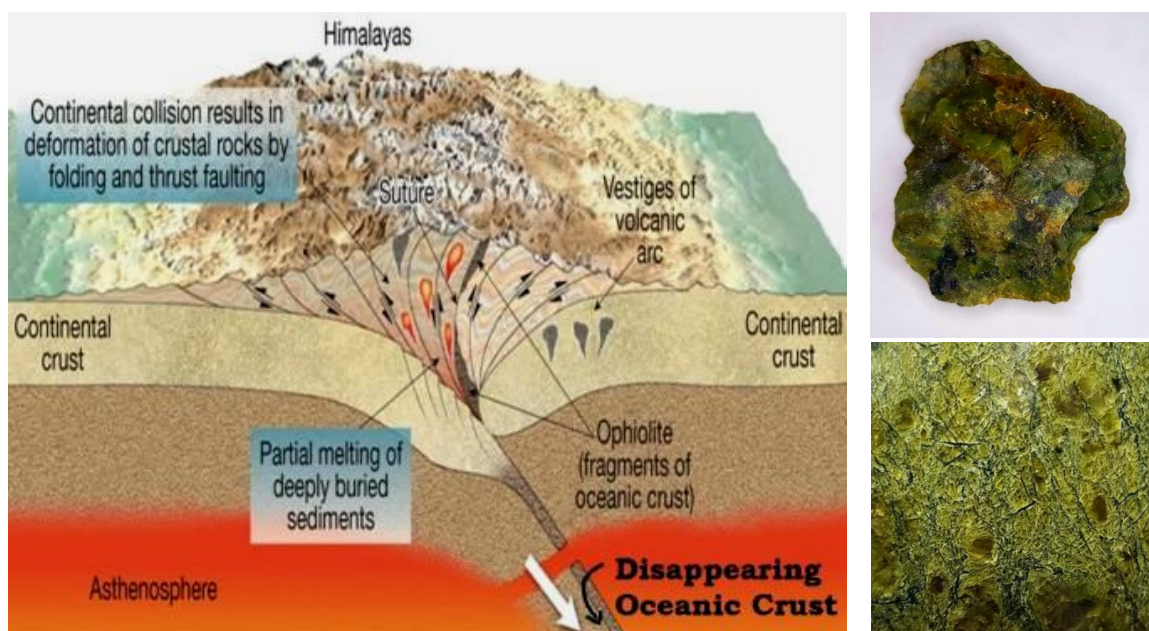
en.wikipedia.org/wiki/Ophiolite, és volcano.oregonstate.edu/ophiolites)
Ordovician ophiolite a Gros Morne Nemzeti Parkban, Új-Fundland.





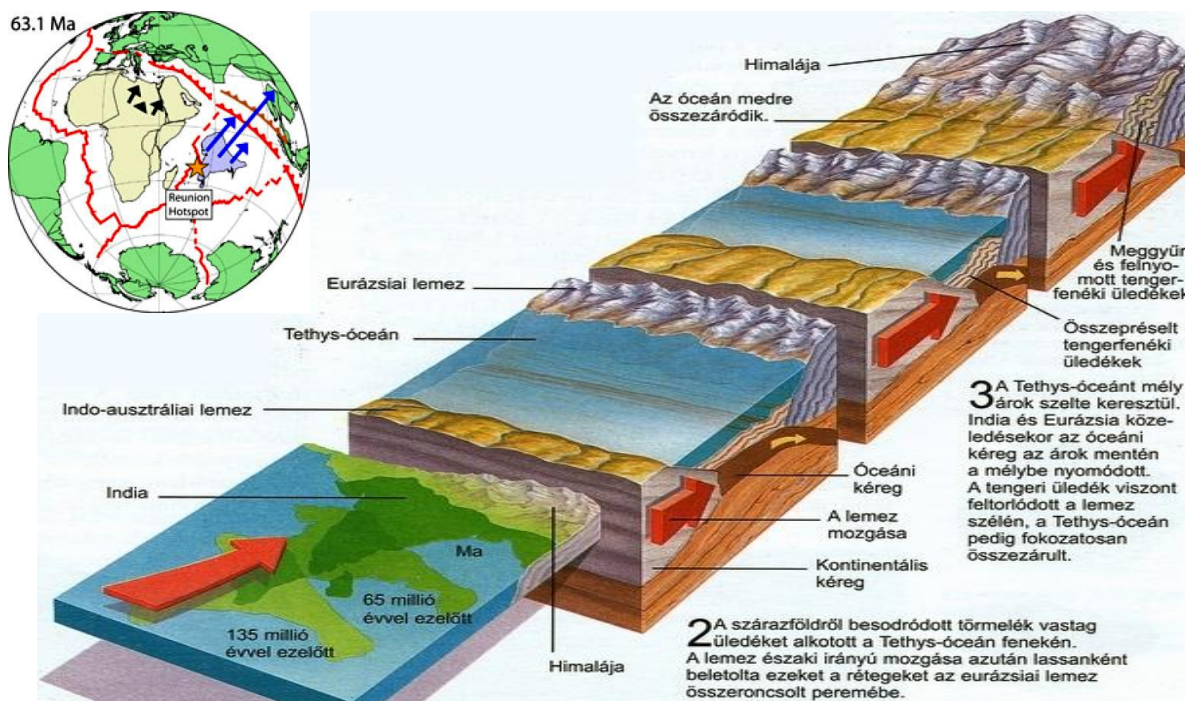
(https://www.researchgate.net/figure/The-main-lithologies-and-structural-sequence-in-the-Oman-Ophiolite-from-the-base-a_fig29_262956018)

Az ofiolit fő litológiák és szerkezeti szekvenciák (Omán).



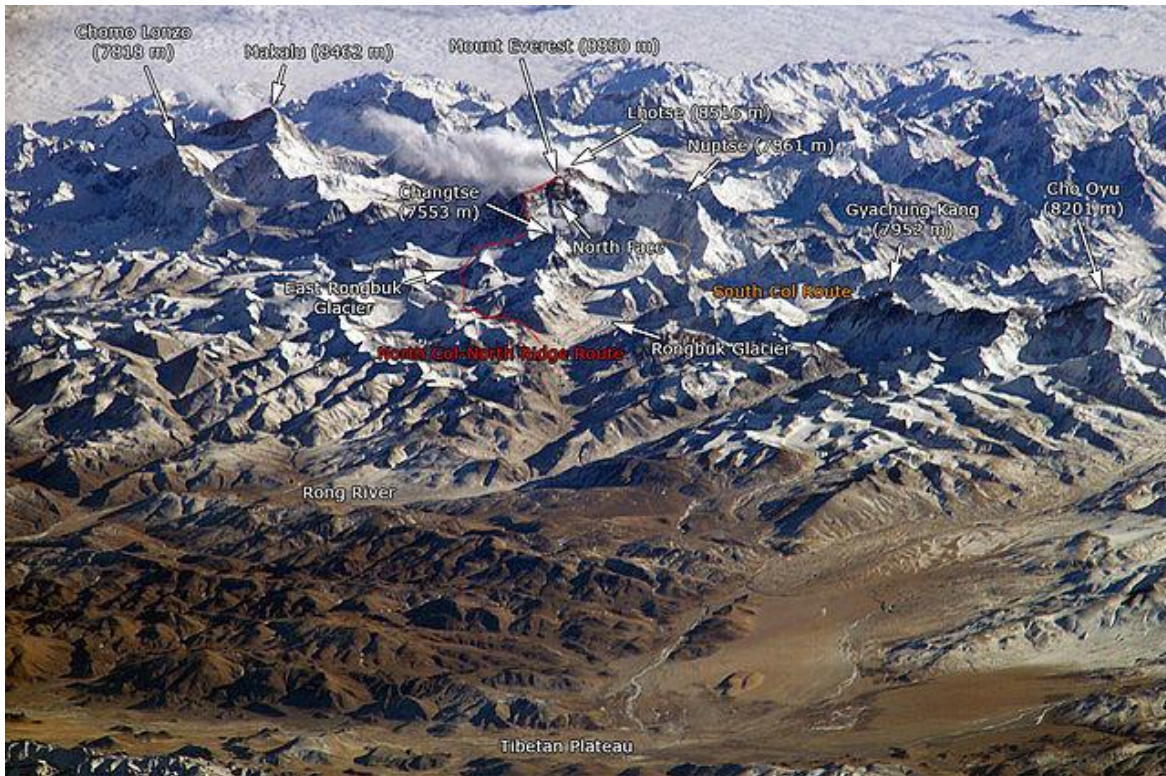
(forrás: [https:// i0.wp.com/www.pmfias.com/wp-content/uploads/2015/12/Continent---Continent-Convergence-or-The-Himalayan-Convergence.jpg?resize=500%2C372](https://i0.wp.com/www.pmfias.com/wp-content/uploads/2015/12/Continent---Continent-Convergence-or-The-Himalayan-Convergence.jpg?resize=500%2C372), és kőzet minták saját gyűjteményből)

Az ábra két kontinentális lemez ütközésének keresztmetszeti diagramját mutatja, jelezve az ofiolitokat, a fotókon ofiolitokhoz tartozó serpentinit kőzetdarab valamint csiszolat makroszkopikus képe látható.



(forrás: www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Hegykep_z_.htm)

Két kontinentális lemez (az eurázsiai és az indiai) ütközés hozta létre a Himalája több párhuzamos láncát, és közöttük óceáni lemez semmisül meg.



(forrás: <https://canyoning.co.uk/canyoning/climbing-route/>)

Kontinentális lemez ütközhet egy másik kontinentális lemezzel is, melynek során az őket korábban elválasztó óceáni lemez aljzata üledékei felgyűrődnek, mint pl. India és Eurázsia ütközésekor, amikor a Thetys-óceán üledékei gyűrődtek fel a Himalájában, azaz hegységképződés, görögül orogenezis lett a kollízió (ütközés) eredménye. A két lemezdarab határát a varratvonal vagy más néven szutúra jelöli ki. A Thetys geoszinklinális üledékeinek felgyűrődése eredményezte pl. az, hogy a Mount Everest csúcsa közelében, 8800 méter magasan tengeri fossziliák láthatók.

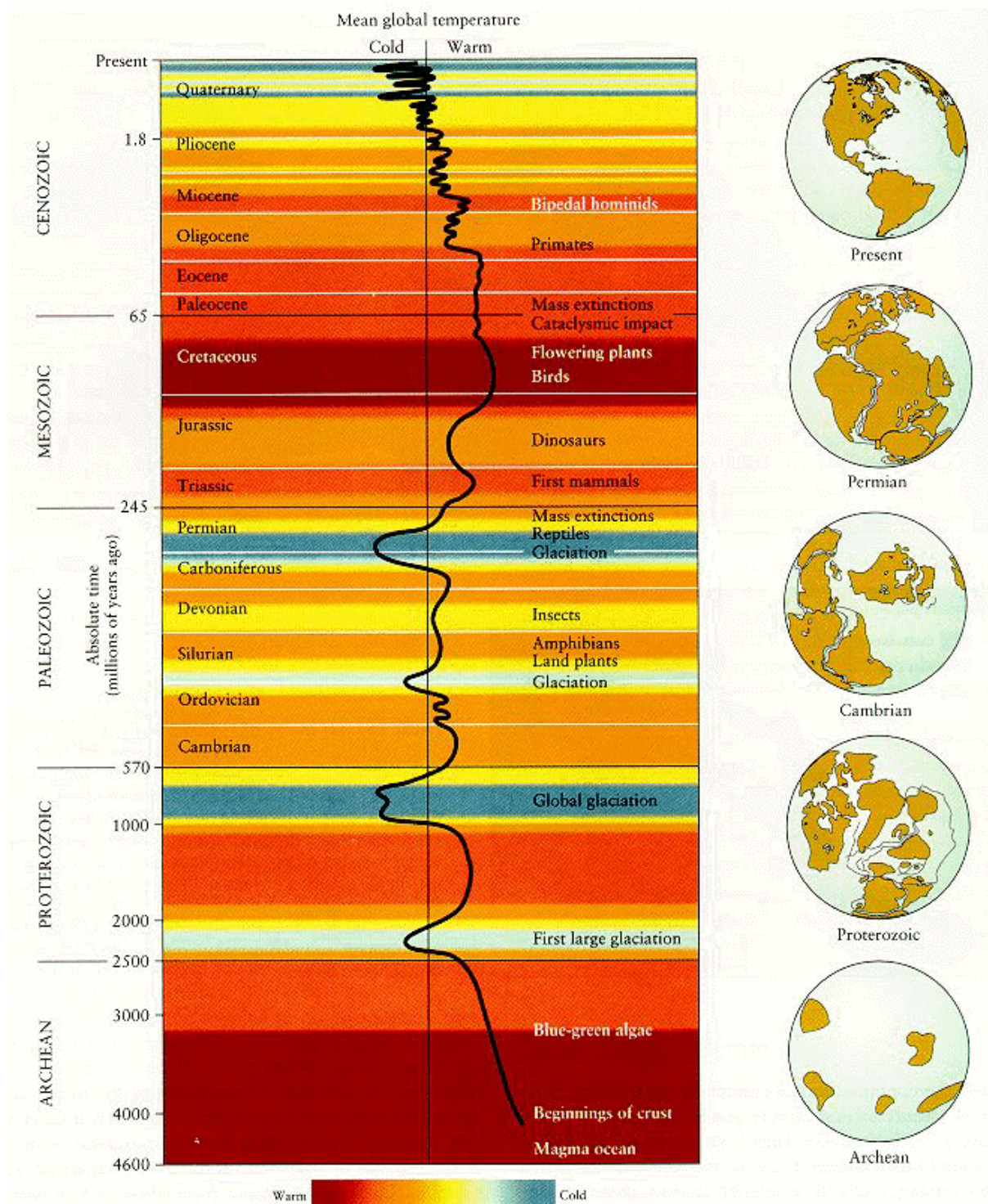


(forrás: fotó: Guangwei Li (2011)

<https://plaza.rakuten.co.jp/hasep2004/diary/201910030000/>, és versesofuniverse.blogspot.com/2011/07/10-highest-peaks-in-world.html)

Himalája, egy gyűrt hegység részlete,

Mount Everest – Nepal/Tibet



(forrás: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/gj.2748>)

A jól ismert jégkorszakok, a késő ordoviciani (455-440 millió évvel ezelőtt), a perm-karboni (335-280 millió évvel ezelőtt) és a kainozoikumai földtörténeti idő eljegesedési időszaka, amely jelenleg is tart, 33,5 millió évvel ezelőtt kezdődött az eocén kor végén az antarktisz, akkor még részleges jégtakaró állandósulásával. A lehülés a miocén során felgyorsult, körülbelül 5 millió évvel ezelőtt az Antarktisz legnagyobb részét már gleccserek borították.

A vulkánkitörések éghajlatra gyakorolt hatása általában a hűtés.

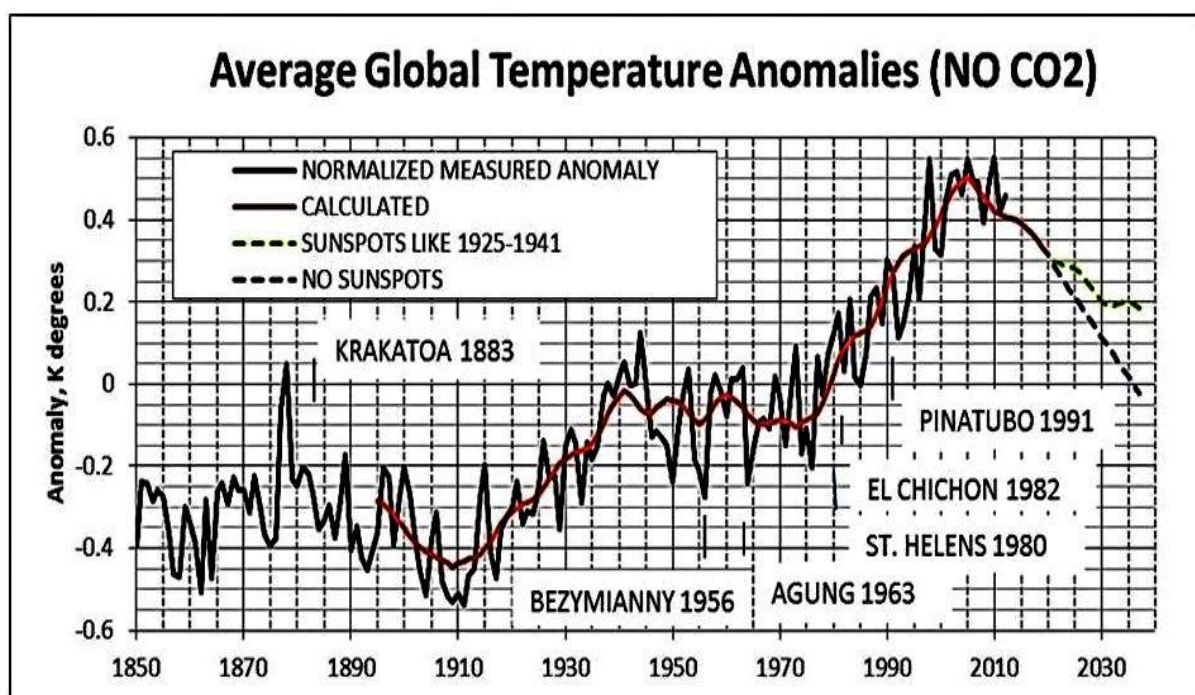
A sztratoszférába irányuló vulkáni kilökések legjelentősebb éghajlati hatásai a kén-dioxid kénsavvá való átalakításából származnak, amely gyorsan lecsapódik a sztratoszférában, hogy finom szulfát aeroszolatot képez. Az aeroszolat növelik a Nap sugárzásának visszaverődése az űrbe, hűtve a Föld alsó légkörét vagy troposzféráját. Számos kitörés okozott átlagos hőmérséklet csökkenést az elmúlt évszázadban a Föld felszínén.

1991. június 15-én a Pinatubo-hegy klimatikus kitörése a huszadik század egyik legnagyobb kitörése volt, és több mint 20 mérföldes magasságban 20 millió tonna kén-dioxid-felhőt fecskendezett a sztratoszférába.

A Pinatubo VEI 6 erősségű kitörése körülbelül 0,1-0,3 °C-kal változtatta meg a felszínközeli átlaghőmérsékletet néhány évre.

A Pinatubo-felhő volt a legnagyobb kén-dioxid-felhő, amelyet valaha megfigyeltek a sztratoszférában, mióta 1978-ban műholdak ilyen megfigyeléseket végeztek. Vélhetően ez okozta, a legnagyobb aeroszol zavart a sztratoszférában a huszadik században, bár valószínűleg kisebbet, mint a Krakatau 1883-ban és Tambora 1815-ben kitörések.

(<http://geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/>)



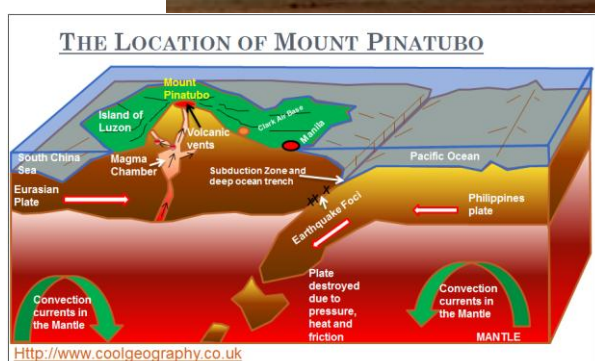
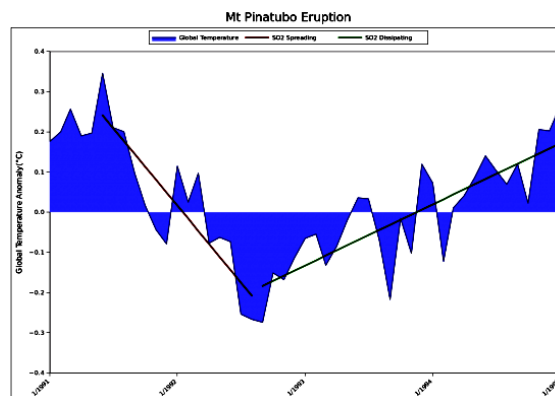
(forrás: Dan Pangburn, <https://hockeyschtick.blogspot.com/2013/11/the-sun-explains-95-of-climate-change.html> <https://ktwop.com/tag/krakatoa/>)

A nagyobb vulkánkitörések hatása az átlagos globális hőmérsékletre.

1991-ben az Mt. Pinatubo kitört a Fülöp-szigeteken. Ez az egyetlen kitörés mérhető hatással volt a Föld hőmérsékletére három évvel a kitörés után is.

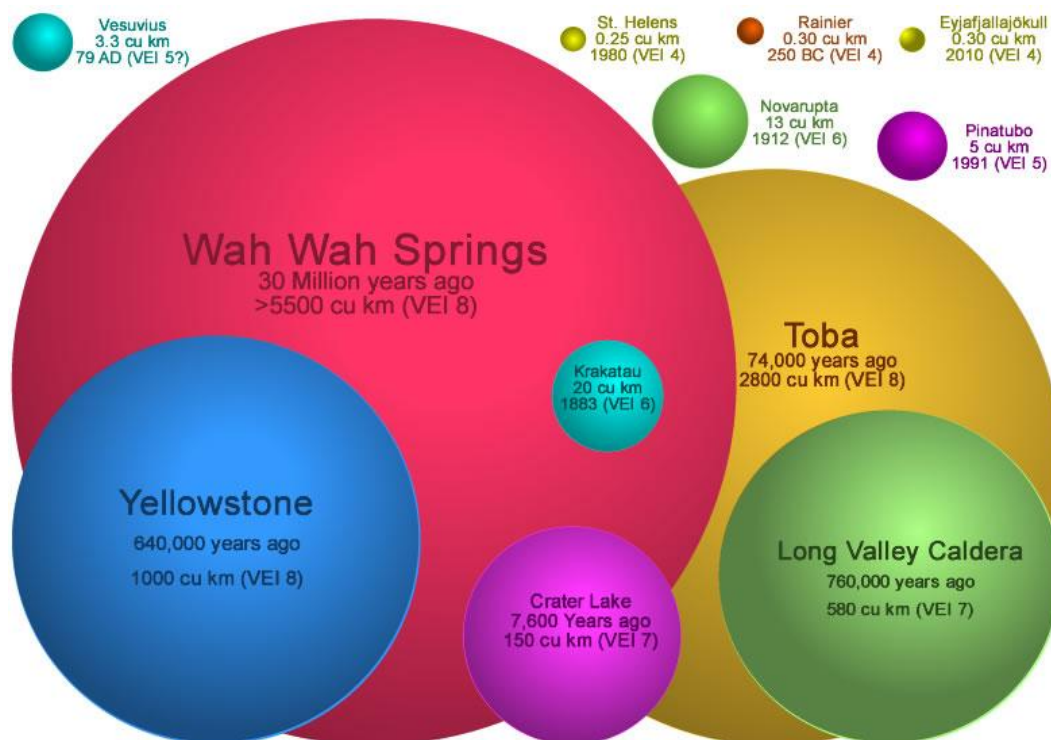
Ez egy nagyon jó eset annak tanulmányozására, hogy a Föld hőmérséklete milyen gyorsan reagál az éghajlati rendszer változásaira, 4 hónapba telt, mire a felhő szétterjedt a trópusokon, és $0,7\text{ °C}$ -kal csökkent az átlagos hőmérséklet.

(forrás: theinconvenientskeptic.com/2011/03/climate-time-lag-of-the-mt-pinatubo-eruption/)

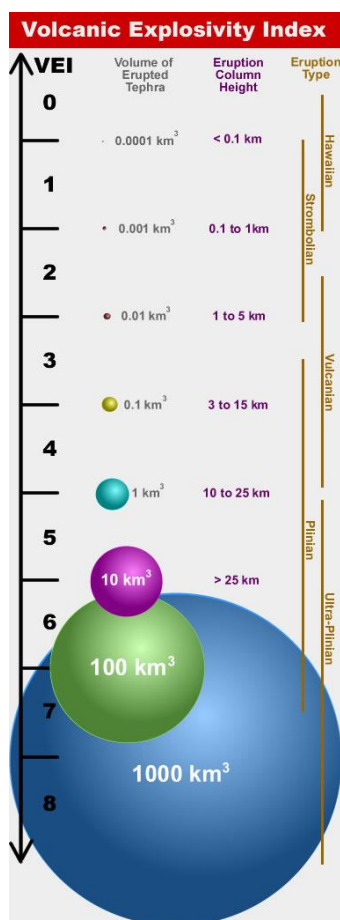


(forrás: eos.org/articles/pinatubo-25-years-later-eight-ways-the-eruption-broke-ground, és www.coolgeography.co.uk/GCSE/AQA/Restless%20Earth/Volcanoes/Mount%20Pinatubo.htm)

Mivel a gázfelhő elérte a maximális méretét és koncentrációját egy évvel a kitörés után, a hűtés legerősebb hatása érezhető volt. Július-szeptember 1992 mutatott a világ, amely körülbelül $0,5\text{ °C}$ -kal hűvösebb, mint egy évvel korábban. A kitöréstől 13 hónapos időszakban a hőmérséklet-változás mértéke $-0,03\text{ °C/hó}$ volt. Egy ilyen erős lehülési sebesség 5 év alatt majdnem 2 °C -kal csökkenne a Föld hőmérsékletével.



(forrás: strangesounds.org/2020/02/probability-super-volcano-eruption-within-5-years-is-over-95-percent.html, és www.quora.com/Would-there-be-a-mass-extinction-if-the-Yellowstone-Supervolcano-went-off)



A fenti ábrán látható gömbök a kitört tefrák (vulkánból kilövellő darabok) térfogatát képviselik.

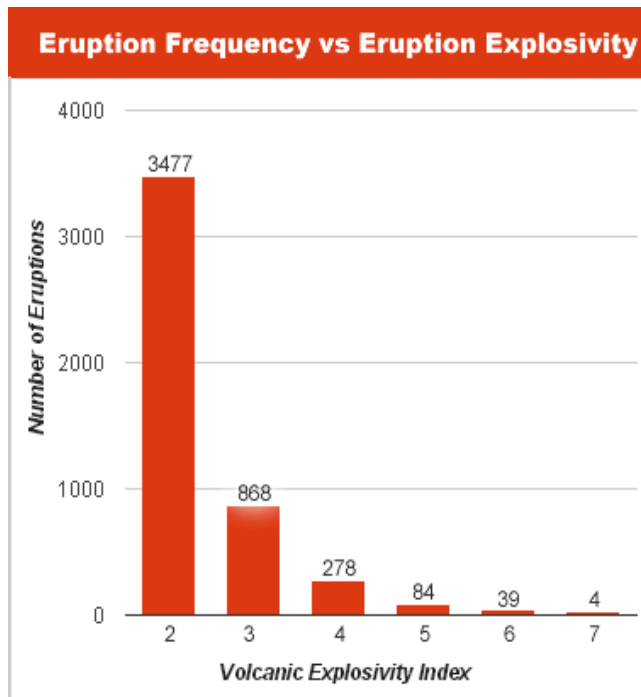
Chris Newhall, az Egyesült Államok Földtani Intézetének munkatársa és Stephen Self, a Hawaii Egyetem munkatársa 1982-ben fejlesztette ki a vulkánkitörési indexet (Volcanic Explosivity Index = VEI) egy relatív mérőszám a vulkáni kitörések erősségének osztályozására.

A vulkáni robbanási index meghatározásához használt elsődleges kitörési jellemzők:

A magnitúdót a piroklasztok teljes mennyisége határozza meg.

A szétszóróképeség a kiszórt anyaggal elborított terület; ez főleg a kitörés mozgási energiájától függ. Az erupciós ráta: a kiáramló magma mennyisége másodpercenként (m³/s-ban).

De figyelembe vesz egyéb mennyiségi (kitörési időtartam stb.) és minőségi (leírás, légköri hatás stb.) jellemzőket is.



VEI vs. kitörési gyakoriság: Ez a diagram megmutatja, hogy a kicsi, kevésbé robbanékony kitörések sokkal gyakoribbak, mint a nagy kitörések. A diagram elkészítéséhez felhasznált adatok a Smithsonian Intézet Global Volcanism Program adatbázisából származnak. Ez az adatbázis rögzített és történelmi kitöréseket tartalmaz, amelyek körülbelül 10 000 évvel ezelőtt és 1994 között történtek.

(forrás: Hobart M. King, Ph.D., geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/)

Az eddig dokumentált legnagyobb robbanásveszélyes kitöréseket a VEI 8-ra értékelték. Ha egy VEI 9 erősségű kitörés a jövőben bekövetkezne, az jelentős fenyegetést jelentene a földi életre nézve.



A tudósok erősen hisznek abban, hogy a világ összes szupervulkánja, beleértve a Toba-hegyet is, biztosan újra kitör. A robbanás történhet holnap vagy több ezer év múlva.

2015 októberében a Yellowstone Nemzeti Park szó szerint megrepedt. A repedés a Föld kéreg, közel 700 méter hosszú, és néhány helyen akár 45 méter széles, okozott nagy aggodalomra ad okot, mert itt, hogy egy hatalmas szupervulkán szunnyad a föld alatt.

A hasadék nem egy közelgő robbanás jele.

(forrás: epochaplus.cz/hrozba-pod-povrchem-probouzi-se-supervulkan-v-yellowstone/)

Ez a szupervulkán háromszor robbant fel a történelemben, úgy 600.000 évente. Az első kitörés 2.100.000 évvel ezelőtt történt, egy másik 1.300.000 évvel ezelőtt, és az utolsó 640.000 évvel ezelőtt.

Ezért, egyesek szerint, az új hatalmas robbanás már régóta küszöbön áll.

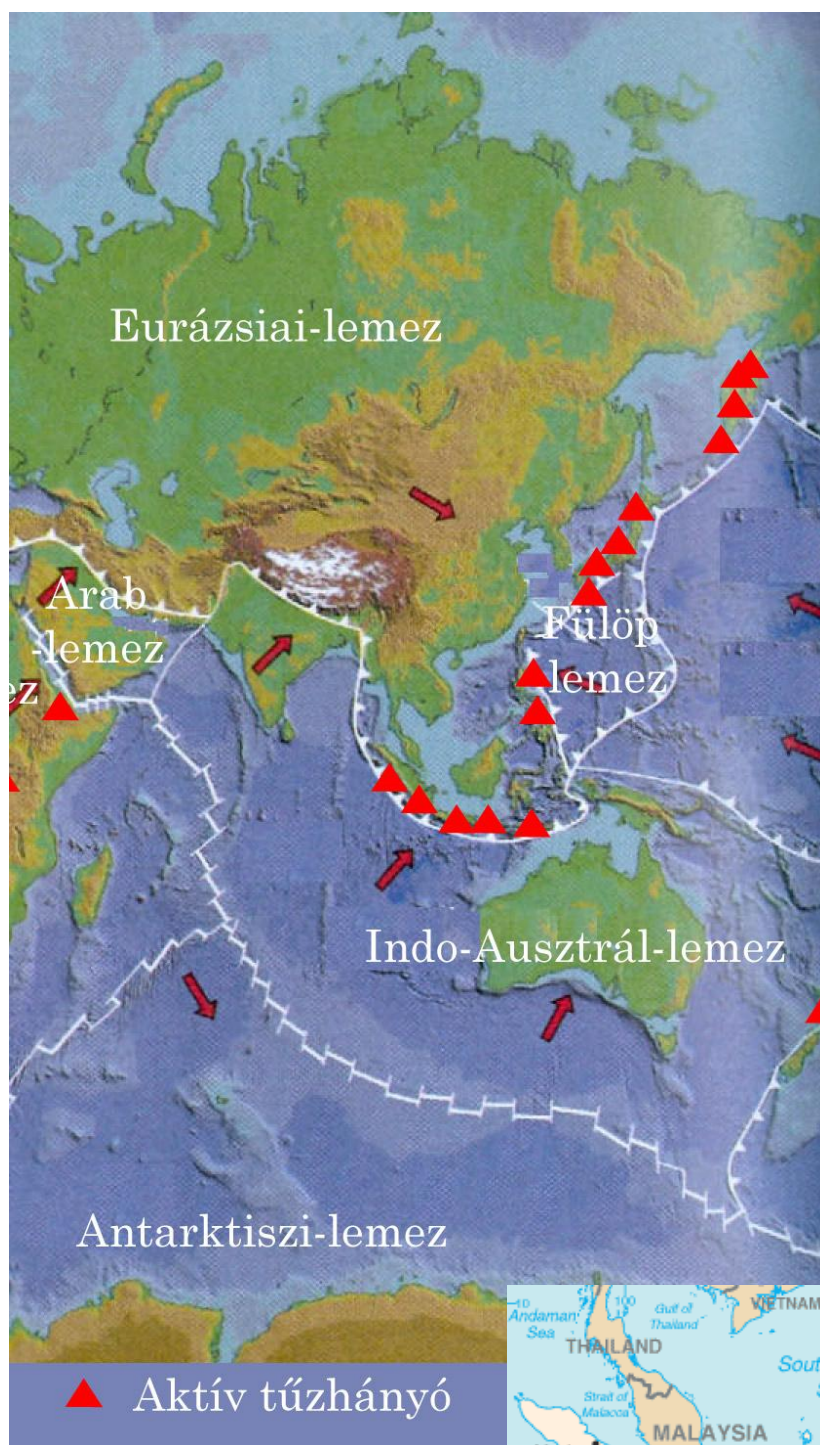
2001 óta, a vulkán már 24/7 (24 órában a hét minden napján) éberségi szintű felügyelet van. A tudósok a Yellowstone Vulkanológiai Observatórium. Szeizmográfok segítségével mérik a Föld kérgének remegését, ami forró víz és magma mozgására utal.



forrás: mitoszvadasz.hu/erdekesssegek/katasztrofa-kozeleg-mikor-tor-ki-a-yellowstone-szupervulkan/3560/)

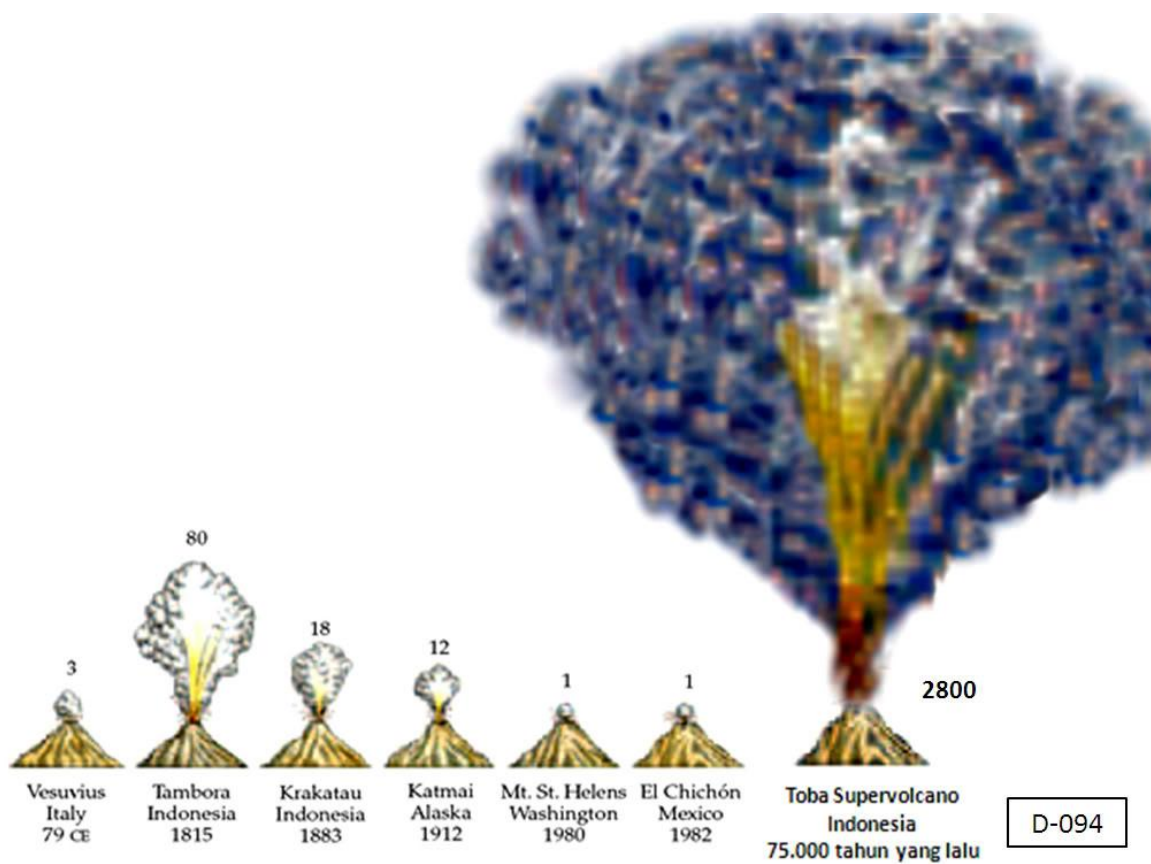
1970-ben a tudósok észrevették, hogy a táj megváltozott, a park egyik tavának déli végén a tóparti fák vízben álltak, így gyanították, hogy a tó északi vége felemelkedett. Később a mérések kimutatták, hogy 1923 és 1977 között a kaldera közepe több mint 60 centimétert emelkedett. 1991 és 2000 között a talaj lejjebb süllyedt, ami arra világított rá, hogy egy élő, aktív kaldera bújik meg a föld alatt. Egy hatalmas, időzített bomba fenyegeti a kontinenst, és az egész világot.

A Yellowstone vulkánját folyamatosan figyelik, de jelenleg nem mutatja annak jelét, hogy a közeljövőben kitörni készülne. A kitörés előrejelzése a magma összetételének ismeretén alapszik. A magma három alkotórészből áll, gázbuborékokból, kristályokból és az olvadt kőzetekből. Mielőtt a magma kitör, elég olvadéknak, úgy 50%-nak kell a magmakamrában lenni, hogy a folyamatot kiválthassa. A tudósok mérései alapján a magmakamrában jelenleg az olvadék 10%, egyelőre úgy tűnik, hogy nincs elég olvadt kőzet odalent ahhoz, hogy egy igazán nagy kitörést produkáljon a szupervulkán. 2003-ban azonban baljós jelek sorozata kezdődött el. A szokatlan gejziraktivitások, a földfelszín megemelkedése és repedése, a föld felforrósodása, gázok szivárgása talán mégis azt jelenti, hogy valami elkezdődött, a vulkán feléledt és újra kitörni készül.



Mount Toba (most: Toba-tó), Indonéziában hajlamos a katasztrófákra, mivel három tektonikus lemez, az Eurázsiai, az Indo-Ausztrál és a Csendes-óceáni lemezek találkozásánál helyezkedik el.

(forrás: farfuturehorizons.blogspot.com/2014/02/volcanic-winter.html)



(forrás: dody94.files.wordpress.com/2010/05/toba-supervolcano-d-0941.jpg
és elementsunearthed.com/tag/volcanoes/)



(illusztráció: www.despertarsabiendo.com/historia/desastre-de-toba/)

Toba egy aktív szuper óriás vulkán, becslések szerint utoljára mintegy 74.000 évvel ezelőtt kitört ki. Az első kitörés körülbelül 800 ezer évvel ezelőtt történt. Ez a kitörés a Toba-tó déli részén, Prapat és Porsea területét fedi le. A második kitörés, amelynek kisebb ereje volt, 500 ezer évvel ezelőtt történt.



(forrás: indonvolcano.blogspot.com/2015/04/toba-eruption.html)

Ez a kitörés kalderát alkotott a Toba-tó északi részén. Pontosan a Silalahi és Haranggaol közötti területen. A harmadik kitörés idején 74.000 évvel ezelőtt keletkezett a kaldera (vulkáni eredetű felszíni képződmény, a kráterhez hasonló horpadály, amit a vulkán kirobbanása és önmagába roskadása hoz létre), és a Toba-tó (100 km hosszú, 30 km széles, a legmélyebb pontja 505 méter), az indonéziai Szumátra-sziget északi részén, a közepén a Samosir-szigettel.

A Gua Niah barlang régészeti lelőhely feltárásának az eredményei Sarawakban (Malajzia) azt mutatják, hogy az emberiséget nem pusztítja el egy Toba méretű VEI 8 erősségű kitörés. Hans Graf légkörkutató (Cambridge Egyetem) szerint a kitörést követő globális hőmérsékletcsökkenés csupán 2,5 Celsius-fok volt, és csak néhány évig tartott a lehűlés.

A hatalmas katasztrófát őseink képesek voltak túlélni.



(forrás: www.wikiwand.com/ms/Gua_Niah)

Neander-völgyi emberek kihalása éghajlati változásokkal állhat összefüggésben.

Korai neandervölgyi ember leletek a Riss-glaciális végéről és a Riss–Würm-interglaciálisból származnak, koruk mintegy 70–130 000 év.

A klasszikus neandervölgyi emberek a Würm-glaciális alatt éltek, koruk mintegy 28–70 000 év.

Egy új felfedezés arra utal, hogy a hideg periódusok által kiváltott ökológiai stressz okozhatta a Neander-völgyiek kihalását és a modern emberek elterjedését.– írják a kutatók a Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) folyóiratban című szaklapban bemutatott tanulmányukban. A Kölni Egyetem Geológiai és Ásványtani Intézetének munkatársa, Michael Staubwasser vezette kutatócsoport szerint ezek a hideg intervallumok egybeesnek azokkal a korszakokkal, amelyekből nem maradtak fenn Neander-völgyiekre utaló nyomok.

A Neander-völgyiek alig néhány ezer évvel az után, hogy a Homo sapiens megjelent Európában, kihaltak.

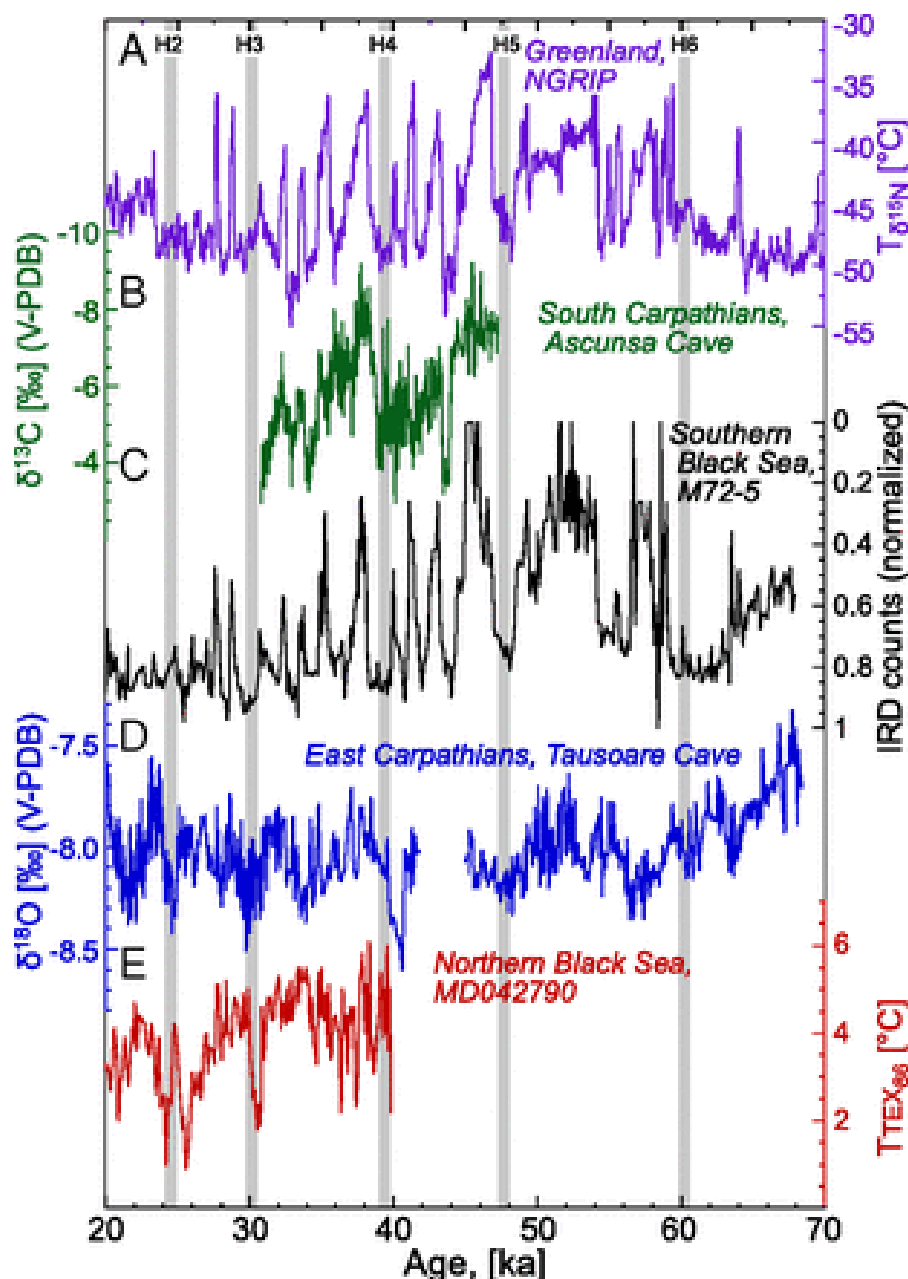
A két embertípus több ezer évig egymás mellett létezett, sőt még keveredett is egymással. Európában és Ázsiában is kimutatták a mai emberek DNS-ében a neandervölgyi emberek nyomát.

A 44 és 40 ezer évvel ezelőtti időszakban két szélsőségesen hideg időszak zajlott le.

A Neander-völgyi ember sok vidéken túlnyomórészt hússal, főként nagyvadakkal táplálkozott, amit jelentősen befolyásoltak a hidegbetörések. Az erdőket ekkor bokros legelők váltották fel. Az emiatt elnéptelenedett területeket a modern ember vette át, amely valószínűleg jobban alkalmazkodott a körülményekhez, vélik a kutatók.

A homo sapiens testfelépítését tekintve alulmaradt a neandervölgyi emberhez képest, mivel kevésbé volt robusztus, más téren viszont előnyben volt. Európából egyre nagyobb számban kezdtek eltűnni a nagyvadak, a neandervölgyi fő táplálékai; a homo sapiens válla azonban más szerkezetű volt, így képes volt a dárdahasználatra, amivel a kisebb és gyorsabb állatokra is tudott vadászni, ez pedig jóval hatékonyabbnak bizonyult a neandervölgyiek lándzsáinál.

(forrás: https://www.elobolygonk.hu/Klimahirek/Klimavedelem/2018_08_20/a_jegkorszakoktol_a_globalis_felmelegedesig_amikor_az_eghajlat_irja_a_tortenelmet)



(forrás: Michael Staubwasser, Virgil Drăgușin, View ORCID Profile Bogdan P. Onac, Sergey Assonov, Vasile Ersek, Dirk L. Hoffmann, and Daniel Veres: Impact of climate change on the transition of Neanderthals to modern humans in Europe, PNAS September 11, 2018 115 (37) 9116-9121; first published August 27, 2018 <https://doi.org/10.1073/pnas.1808647115>, <https://www.pnas.org/content/115/37/9116>, és <https://www.pnas.org/content/115/37/9116/tab-figures-data>)

(A) Grönland: Észak-Grönlandi Jégmag Projekt (NGRIP) hőmérséklete. (B) Dél-Kárpátok: $\delta^{13}\text{C}$ POM1 sztalagmit C-ja az AC.-től (C) Dél-Fekete-tenger: part menti IRD bőség az M72-5 magban. (D) Kelet-Kárpátok: $\delta^{18}\text{O}$ sztalagmit 1152, TC. (E) Északi-fekete-tenger: TEX86 nyári tengerfelszíni hőmérséklet. A szürke sávok Heinrich stadials-t jeleznek.

Bármilyen természeti nehézségekkel is találta magát szembe az ember történelme során, az alkalmazkodás képessége révén szinte bárhol elboldogult a Földön. De azt is meg kellett tapasztalnia, hogy az éghajlat nem mindig állandó: egész társadalmak, kultúrák, civilizációk lettek a klímaváltozás áldozatai. A túlélésre játszóknak két választásuk volt.

Az egyik a menekülés, azaz kedvezőbb éghajlatú területre vándorlás. A másik lehetőségnek az újítások, a technológiai változások világa bizonyult, amelyek révén az ember saját területének eltartóképességét tornázta feljebb, így biztosítva a talpon maradást. Egyes kutatók ugyanakkor arra hívják fel a figyelmet, hogy ha egy civilizáció tartósan magas életszínvonalat tud fenntartani, az együtt jár a populáció növekedésével, ami idővel gyakorlatilag korlátlan méretet ölthet. Ha egy civilizáció ilyenkor szembesül egy drasztikus éghajlatváltozással, az katasztrófával, népek eltűnésével járhat.

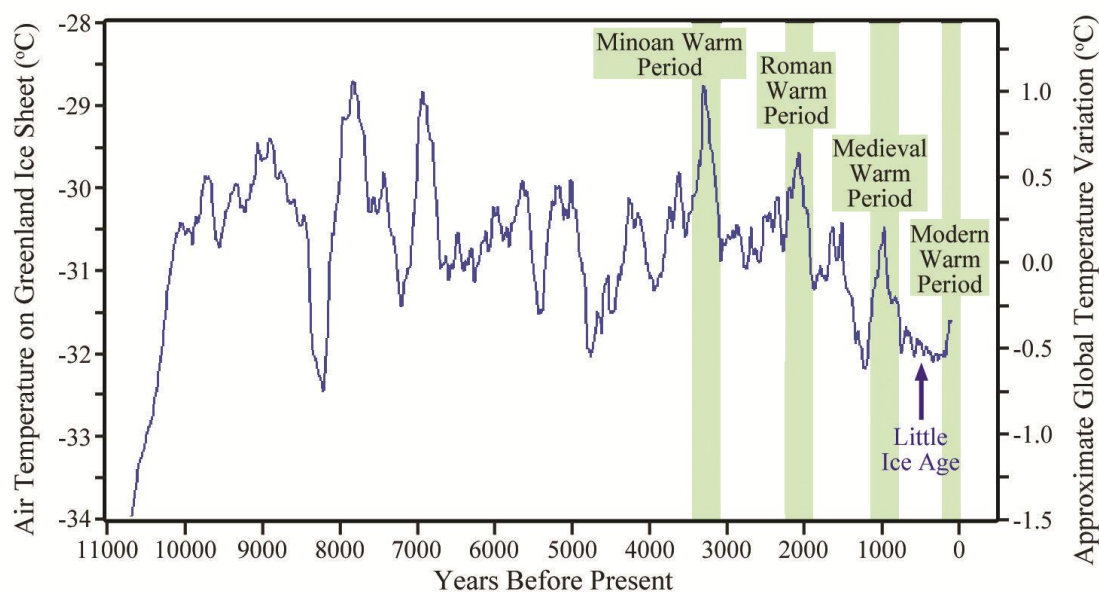
Az utolsó jeges időszaknak hirtelen lett vége. A gyors olvadás rengeteg hideg vizet juttatott a világtengerekbe, így a Golf-áramlat meleg vizének fűtő hatása megszűnt. Emiatt Európában és a Közel-Keleten nemcsak hűvösebb volt egy ideig az éghajlat, hanem szárazabb is.

A jégkorszak után általános felmelegedés kezdődött szerte a Földön, aminek okát bolygónk pályaelemeinek változásában látják a szakértők. Az éghajlat Kr.e. 6-3000 között érte el a legmelegebb időszakot. A gleccserek nagy része elolvadt, volt elég csapadék a Közel-Kelettől az Indus völgyén át egészen Kínáig terjedő sávban, Nem véletlen, hogy az első fejlett civilizációk ekkor és ezeken a helyeken fejlődtek ki. A mai Szahara sem sivatag volt ekkor Észak-Afrikában: területén virágzó vegetáció, erdős, fás, füves területek váltották egymást, így az emberek is nagy számban költöztek a környékre.

Nagyjából 5000 évvel ezelőtt azonban a kedvező éghajlatot klímaromlás követte. A hőmérséklet és a csapadék mennyisége csökkent, aminek okát szintén a Föld keringési pályájának változásában látják. Ekkor indult meg a Szahara sivatagosodása is, de ez minden kontinensen így történt: kezdtek kialakulni a mai sivatagok. Ez a szárazabb időszak óriási hatással volt az emberiségre. A Szahara egyre lakhatatlanabbá vált, Az elvándorlás maradt az egyetlen járható út.

A több ezer évig tartó, szinte teljes kiszáradás ideje alatt egyre több ember húzódott a folyó partjára, így létrehozva az egyiptomi civilizációt. Mezopotámiában a meleg és szárazabb idő először kedvezőnek bizonyult. A Perzsa-öböl vize visszahúzódott, így több területet lehetett művelés alá fogni, ami az öntözéses gazdálkodás révén meg is valósult.

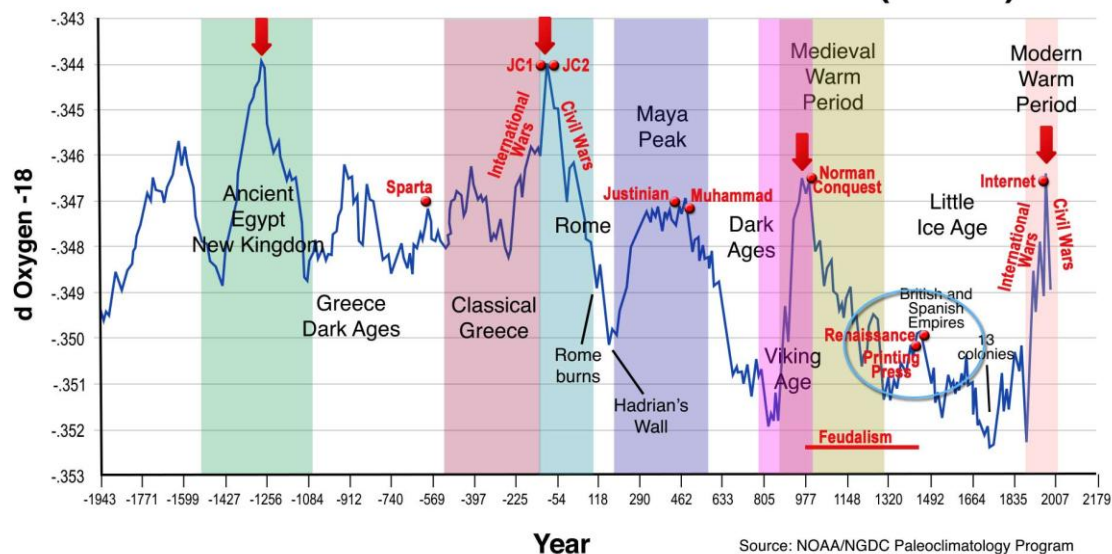
Global Temperature Variation Over the Last 10,000 Years



Alley, 2000; Climate4You, 2015

(forrás: <https://wattsupwiththat.com/2015/08/22/apple-and-google-pour-billions-down-a-green-drain/>)

Climate: Data from Greenland Ice Cores (GISP2)



Source: NOAA/NGDC Paleoclimatology Program

(forrás: <https://worldcyclesinstitute.com/same-wheel-different-hamsters-a-typical-172-year-cycle/>)

A különböző hőmérséklet-meghatározási módszerek közül az egyik legmegbízhatóbb az oxigénizotópos módszer. Magasabb hőmérséklet esetén az oxigén könnyebb izotópja az oxigén-16 (^{16}O) nagyobb arányban szerepel a nehezebb izotóphoz az oxigén-18 (^{18}O) képest az elpárolgott vízben, ami azután ilyen arányban épül be a sarki jégtakaróba. A tengeri üledékekben (a szilárd vázú szervezetek maradványaiban) fordított a helyzet.

A hosszú és meleg időszakot i.e. 800 körül lehűlés követte. 1-2 °C -kal csökkent az átlaghőmérséklet, ezzel együtt nőtt a csapadék mennyisége. Észak-Afrikában magasabbra került a talajvíz szintje is, így az oázisokban elegendő víz volt a gabonatermesztéshez. Ezért is lett ez a terület a Földközi-tenger medencéjének legnagyobb gabonatermelője, idővel pedig a Római Birodalom éléskamrája.

Időszámításunk kezdete után az éghajlat hűvösödni kezdett, a Golf-áramlat vizének is csökkent a hőmérséklete. Ez elég volt ahhoz, hogy Észak-Afrikában kevesebb gabonát tudtak termelni, aminek komoly hatása volt Rómára nézve.

i. sz. 406 szokatlanul kemény telén a befagyott Rajna folyón közel 100 ezres tömeg kelt át az éhezés és a hunok elől menekülve.

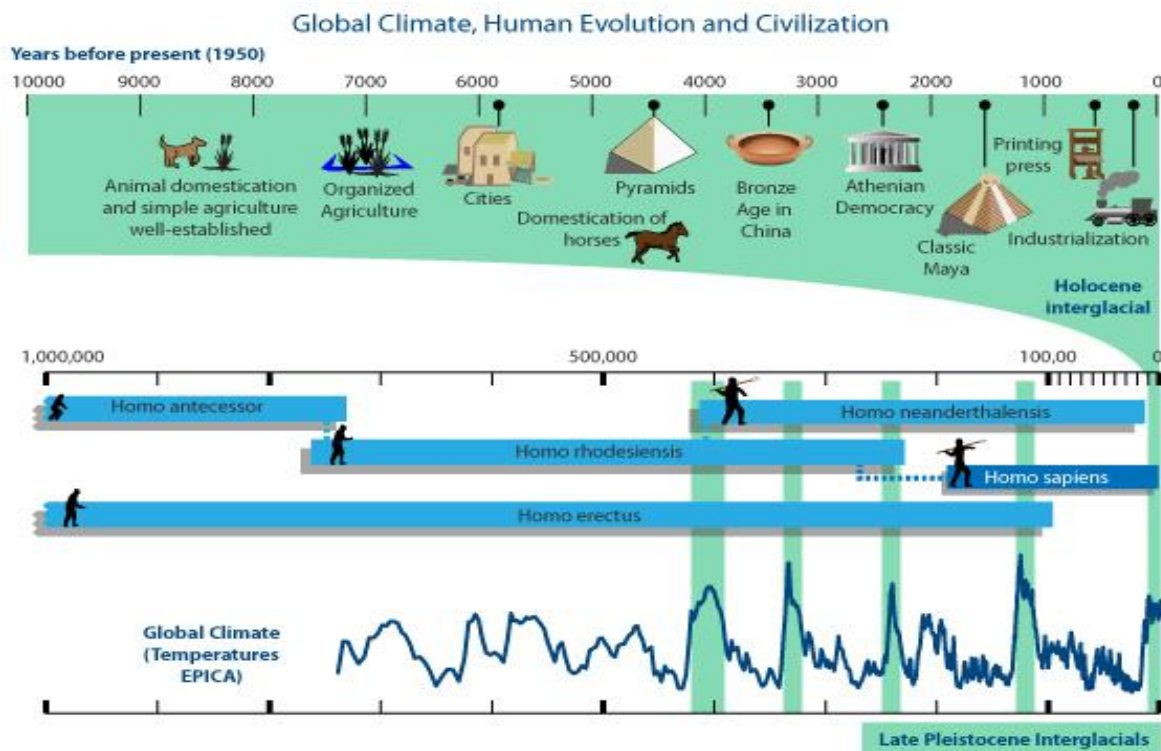
950-től 1250-ig melegebb periódus jellemezte az északi féltekét, ami átlagosan 1-2 fokos középhőmérséklet-emelkedést jelentett, de a legészakibb tájakon a melegedés mértéke a 4 fokot is elérte. A modern tudomány szerint ennek legfőbb oka a a naptevékenység változása volt. A melegebb, szárazabb periódus miatt lettek az északi vizek jégmentesek, Grönlandot, aminek partja a melegebb idő miatt jégmentes volt Nyugat-Európában is melegebb volt a korábbi időszakhoz képest, megnőtt az erdők aránya, és lehetőség nyílt arra, hogy a domboldalakat, hegyoldalakat is megműveljék. Egyesek szerint a városiasodás, a nagy európai városok megjelenése is a klímaváltozás egyik terméke volt. Az enyhe időjárás még az építészetben, a művészetekben is nyomot hagyott: elég, ha a gótikus stílus nagy méretű ablakaira gondolunk, amik a korábbi román stílushoz képest sokkal több napfényt engedtek be az épületekbe.

A 14. századtól egészen a 19. század második feléig tartott a kis jégkorszak elnevezésű klimatológiai periódus, amikor az átlaghőmérséklet Nyugat-Európában 1-2 °C-kal, világszerte pedig 0,5-1 °C-kal csökkent. Az okokat keresve a kutatók több lehetséges jelöltet találtak, így a naptevékenység csökkenése, a Föld pályaelemeinek kismértékű változása és a vulkanizmus révén a légkörbe kerülő anyagok együttes hatása okozhatta a több évszázados éghajlati ingadozást.

1815. április 5-én a Indonéziában a Tambora vulkán kitört. Öt nappal később elszabadult a pokol: a vulkán felső része eltűnt egy robbanásban, és több mint 40 kilométer magas hamufelhő képződött. A légkörbe kerülő vulkáni anyagok miatt a Föld átlaghőmérséklete pár héten belül fél fokkal csökkent, és az 1816-os év a „nyár nélküli évként” vonult be a történelembe. A terméshozam visszaesett, éhínség, tífuszjárvány tombolt több országban.

1850 körül kezdődött egy lassú melegedés, ami a kis jégkorszak végét jelentette. De egy évszázad sem telt el, és a tudósok új veszélyforrással kezdtek foglalkozni, ami a globális felmelegedés nevet kapta.

(forrás. Béres Attila: A jégkorszakoktól a globális felmelegedésig: amikor az éghajlat írja a történelmet, <https://qubit.hu/2018/08/12/a-jegkorszakoktol-a-globalis-felmelegedesig-amikor-az-eghajlat-irja-a-tortenelmet>, 2018.)

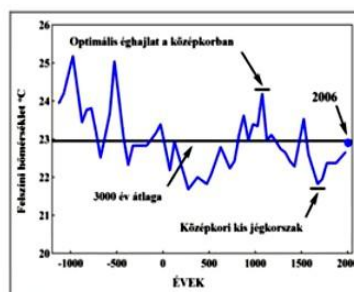


(illusztráció forrása: John Garrett, <https://skepticalscience.com/print.php?n=1227> , és www.skepticalscience.com/print.php?r=424)

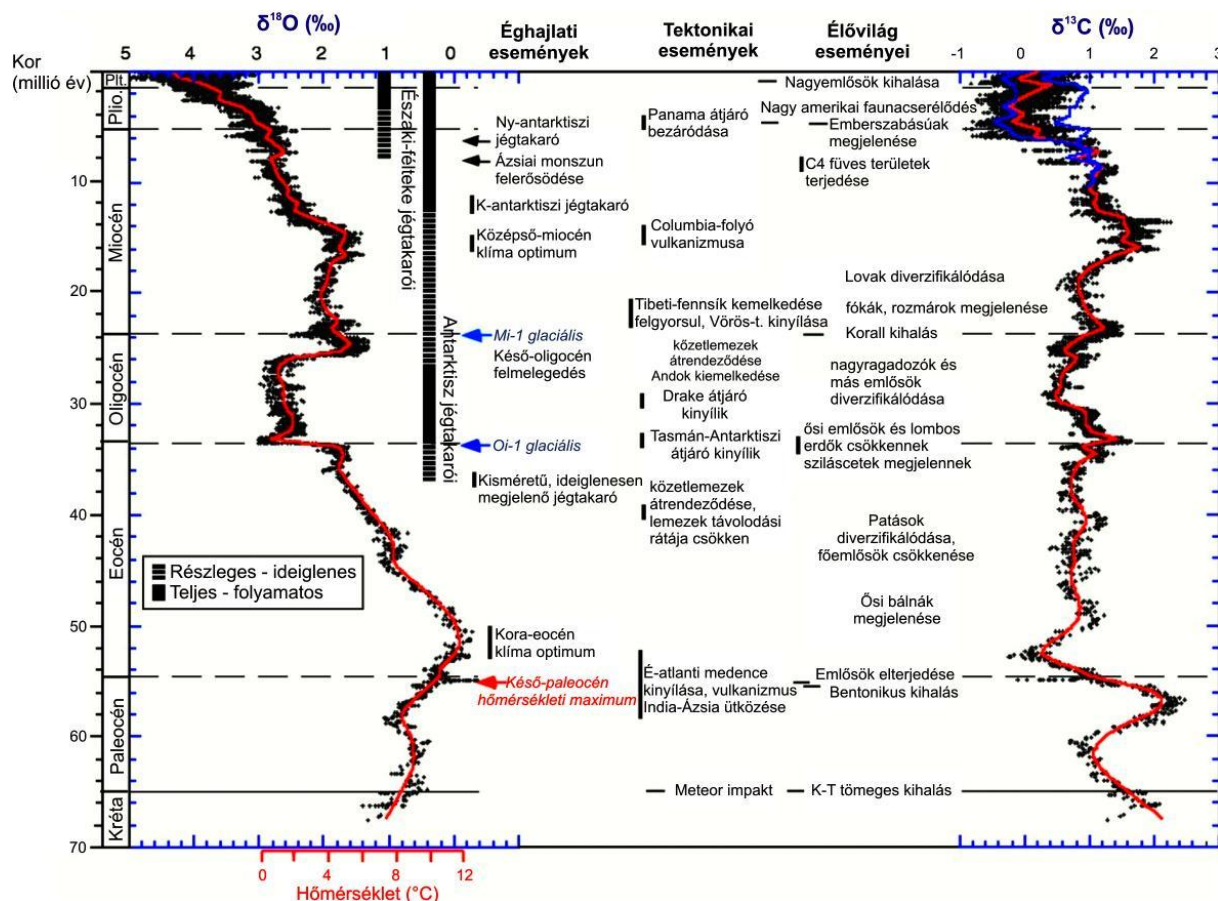
A globális éghajlat melegedéssel kapcsolatban a neves kultúrtörténész, Wolfgang Behringer megállapítása hogy a Földön minden „nagy” kultúra a melegebb periódusokban jött létre. (www.termesztvilaga.hu/szamok/tv2011/tv1103/berenyi.html)

Néhány ezer éves léptékben az emberiség akkor élt jólétben, amikor melegebb volt az éghajlat, mint most.

(forrás: A Paksi Energetikai Kerekasztal (PEK) és a TMMK Energetikai Szakcsoport közös rendezvénye. Előadó: Dr. Héjjas István kutató-fejlesztő mérnök, www.youtube.com/watch?v=XFOQKK8BLOk)



Néhány ezer éves léptékben az emberiség akkor élt jólétben, amikor melegebb volt az éghajlat, mint most.
(a diagramon a Sargasso tenger felszíni hőmérsékletének változása látható)



(forrás: www.researchgate.net/figure/Global-deep-sea-oxygen-and-carbon-isotope-records-based-on-data-compiled-from-more-than_fig1_12010365, és <https://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyeztan9/www/out/html-chunks/ch15s08.html>)

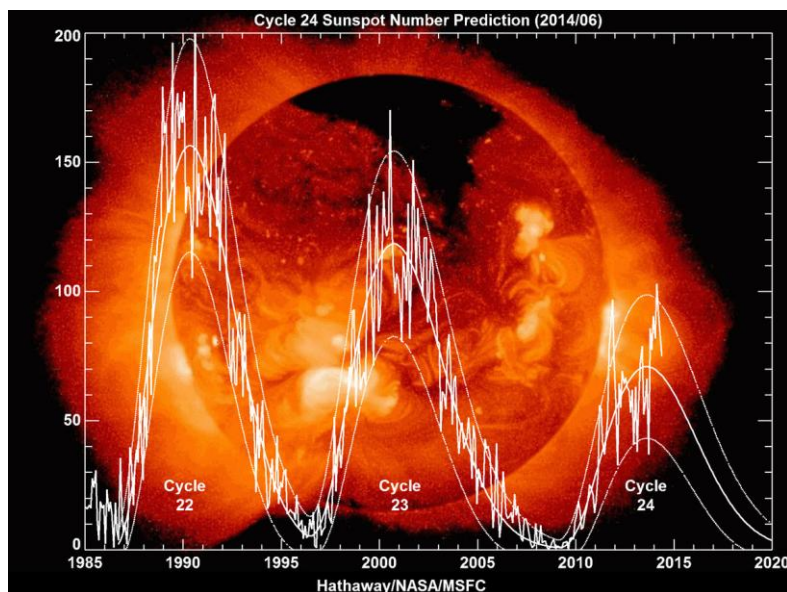
Az oxigén és szén stabilizotóp értékeinek változása párhuzamban a fontos földtörténeti eseményekkel (Zachos et al., 2001 után módosítva)

A kihalásokat kiváltó okokról még mindig vita folyik. Az viszont tény, hogy ezen eseményekhez éles stabilizotóp-geokémiai változás is kapcsolódik. A határeseményeket rögzítő üledékes szelvényekben a kihalással csaknem egy időben az üledék karbonátjában és szerves anyagában erőteljes (kb. 5-6 ‰-es) negatív $\delta^{13}\text{C}$ eltolódás, majd az eredeti értékre történő visszaállás jelenik meg (Demény, 2004).

Az óceánfenéken felhalmozódó mészvázás élőlények maradványain végzett oxigén izotópos vizsgálatok segítenek az üledék képződésének időpontjára vonatkozó hőmérsékleti adatokhoz. A karbonátos üledékek igen lassan, mintegy 1–4 cm/évezredes sebességgel rakódnak le, ezért csak a hosszabb évszázados, évezredes követések lehetségesek így.

A Csendes-óceán középső részében talált ilyen rétegsort Shackleton vizsgálatának eredményeiből az tűnt ki, hogy az utóbbi egymillió évben az eljegesedések nagyjából 100 000 éves rendszerességgel követték egymást.

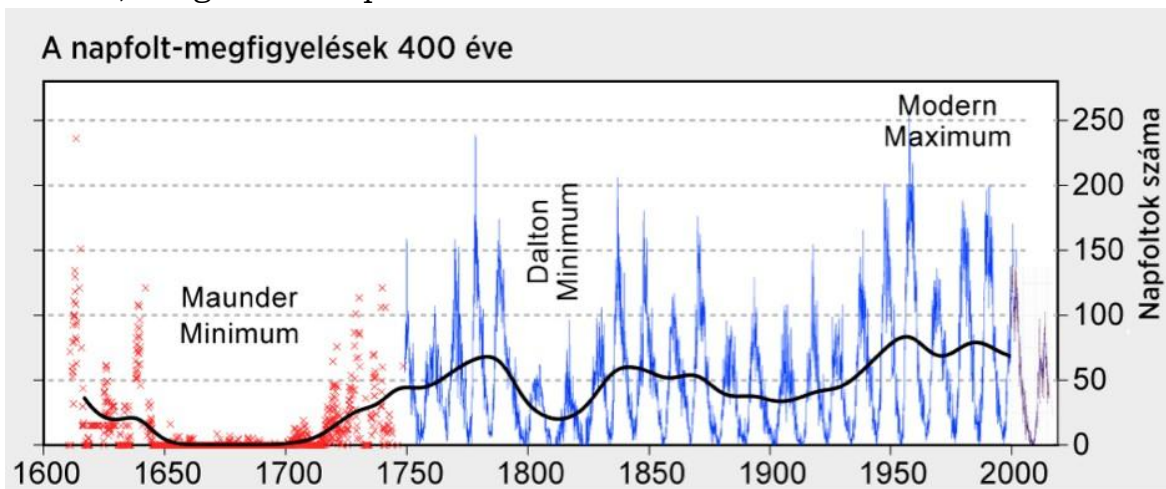
A napfoltok számának ciklikus változásai szintén alakítják a bolygónk természetes éghajlatát.



A teljes totális napsugárzás (total solar irradiance – TSI), ami a légkör tetejére érkezik - ha gömbként közelítjük a Föld alakját - ez körülbelül $340,25 \text{ W/m}^2$. Ehhez az átlagos értékhez képest a tényleges beérkező napsugárzás értéke 11 éves ciklusokban növekszik illetve csökken.

(forrás: David Hathaway/NASA Ames, www.kurzweilai.net/will-cosmic-rays-threaten-mars-one-other-deep-space-astronaut-projects)

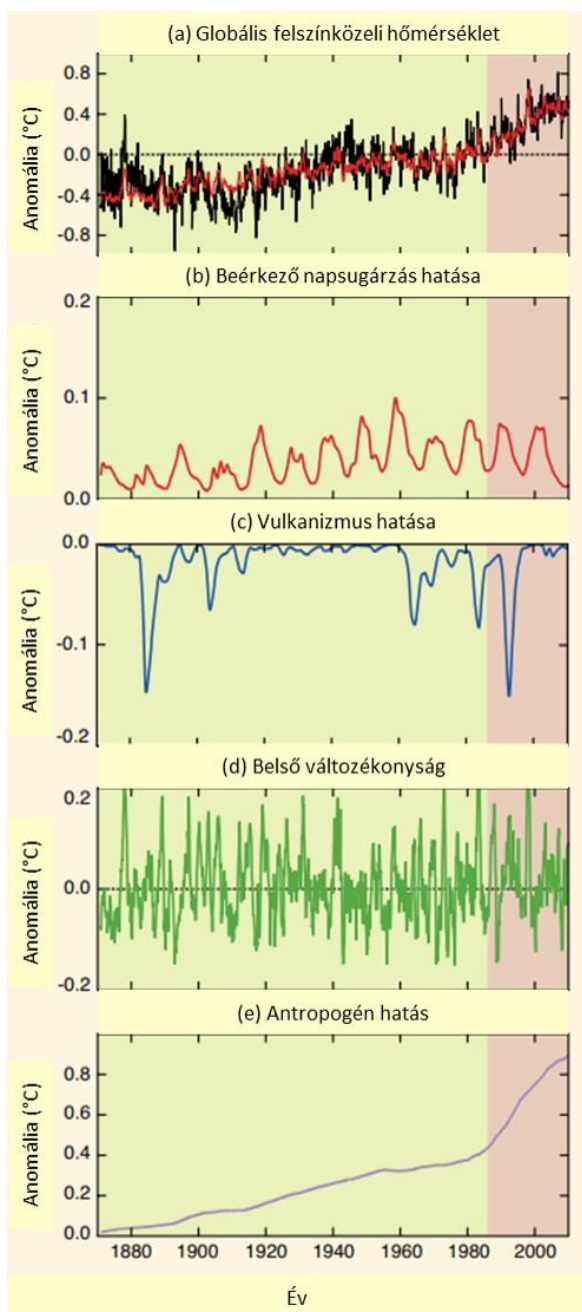
Az ábra azt mutatja meg, hogy egy adott évben hány napon keresztül voltak megfigyelhetők napfoltok a Nap Föld felé néző oldalán. A napfoltok 24. ciklusa, a legkisebb napfolt ciklus volt 1906-os ciklus óta



(forrás: <https://skepticalscience.com/grand-solar-minimum-mini-ice-age.htm>, és https://mta.hu/tudomany_hirei/egyedulallo-magyar-napfolt-adatbazis-keszult-a-nap-hosszu-tavu-valtozasainak-vizsgalatahoz-mta-csfk-napfizikai-obszervatorium-debrecen-107093)

Az ábrán megfigyelhető a naptevékenység hosszú távú és ciklikus változása a napfoltok számának értékei alapján 1610-től kezdődően. A Dalton Minimum 1790-1830-as átlaga alacsonyabb globális hőmérsékletet hozott magával. Például a németországi Oberlach állomás 20 év alatt $2 \text{ }^\circ\text{C}$ -os csökkenést tapasztalt.

Az ipari forradalom előtti időszakhoz képest a globális felszínközeli hőmérséklet 1°C -t emelkedett. A különböző eredetű hatásokra lebontva ez a hőmérséklet emelkedés nem volt egyöntetű. A vulkanizmus időszakos hűtő hatást fejtett ki. A Pinatubo 1991-es kitörése során például körülbelül $0,1$ - $0,3^{\circ}\text{C}$ -al csökkentette a felszínközeli hőmérsékletet. A napciklus hatására pedig $0,1^{\circ}\text{C}$ -al ingadozott a hőmérséklet az évtizedek során. Egy, nagy szoláris minimum $0,3^{\circ}\text{C}$ -os hűlést okozna.



(a) Globális felszínközeli hőmérséklet alakulása 1870-2010 között (piros vonal) az 1961-1990-es időszakra vonatkozó átlagos globális felszínközeli hőmérséklethez képest (fekete vonal). A globális felszínközeli átlaghőmérséklet alakulásánál a természetes és antropogén hatások együttesen jelennek meg. (b) Becsült hőmérsékletváltozás a beérkező napsugárzás mennyiségének változásának hatására. (c) Becsült hőmérsékletváltozás a vulkanizmus hatására. (d) Becsült hőmérsékletváltozás a belső változékonyság hatására, amit az El Niño okozott. (e) Becsült hőmérsékletváltozás antropogén tevékenység hatására (az üvegházhatású gázok kibocsátásából eredő fűtő és az antropogén aeroszolok okozta hűtő hatást figyelembe véve).

Globális felszínközeli hőmérséklet anomáliák 1870-2010 között. Az ábrán látható a hűtő és fűtő hatása a természetes és antropogén eredetű hatásoknak.

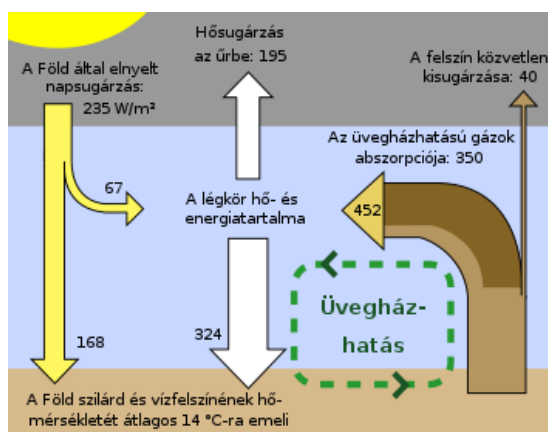
(forrás: Szabó Amanda Imola,

Meteorológus-éghajlatkutató, doktorandusz az ELTE TTK Meteorológiai Tanszékén és a Másfél fok egyik állandó szerzője.

<https://masfelfok.hu/2019/07/07/mitosz-napfoltok-napfoltciklus-eghajlatvaltozas-eghajlativalsag-termeszetes-valtozekonysag/>,

www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter05_FINAL.pdf

Az üvegházhatás a Föld hőháztartását befolyásolja.



A légkör a Nap fénnyét átterjeszti, de a saját hőmérsékleti sugárzásának egy részét nem.

Emiatt a bolygó felszínéről a hő egy része nem jut közvetlenül vissza az űrbe, hanem különféle fizikai és meteorológiai folyamatokban vesz részt. Ezek megnövelik a felszín és az alsó légkör hőmérsékletét.

A metán légköri koncentrációja nagyságrendekkel kisebb, mint a szén-dioxidé (1,7 ppm, szemben a szén-dioxid 380 ppm-es koncentrációjával), kémiai átalakulások során a metánból szén-monoxid majd szén-dioxid keletkezik, így annak mennyiségét növeli.

A metán a szén-dioxidnál sokkal (hússzor) erősebb üvegházhatást gyakorol a légkörre, a jelenlegi klímaváltozás egyik legfontosabb tényezője.

A kutatók arra hívják fel a figyelmet, hogy a jég olvadásakor több más anyag mellett metángáz szabadul fel a sarki jégtakaróból.

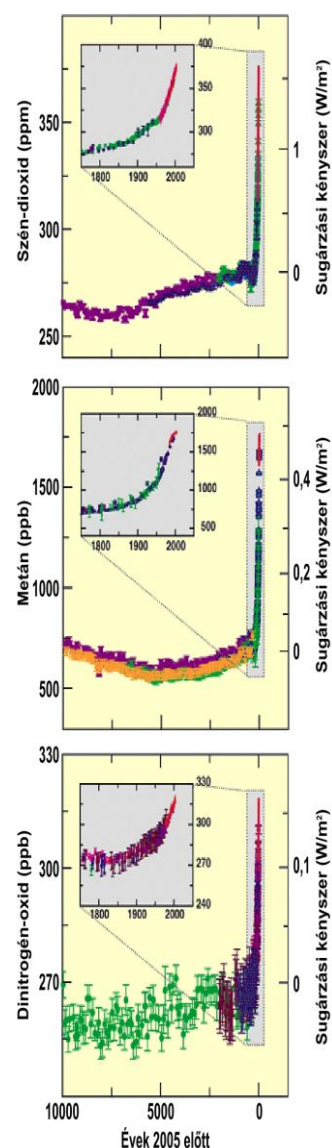
Hasonló problémát rejt a nagy kiterjedésű, mocsaras területek, vízzel elárasztott ázsiai rizsföldek kipárolgása, a kérődző állatok emésztése, az állattenyésztés során keletkező trágya lebomlása és a szemételepeken tárolt hulladék bomlása.

A dinitrogén-oxid: a természetben a nitrogéntartalmú élő szervezetek bomlásából ered, az emberi tevékenység nyomán pedig a műtrágya használat juttatja a legtöbb dinitrogén-oxidot a légkörbe, de jelentős a hőerőművek és a közlekedés dinitrogén-oxid-kibocsátása is

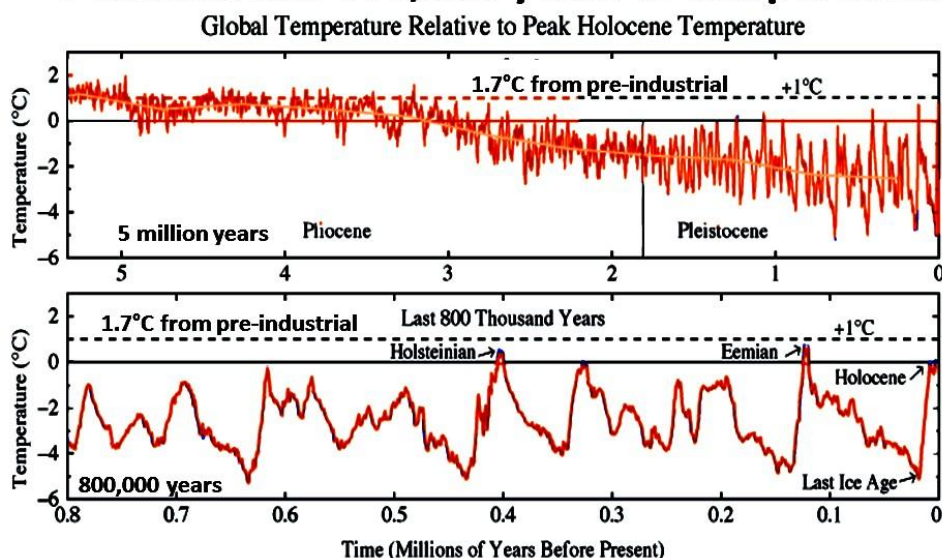
A három üvegházhatású gáz a légkörben.

(forrás:

www.agroinform.hu/kornyezetvedelem/a-metan-jobban-befolyasolja-a-klimavaltozast-31601-001, és hu.wikipedia.org/wiki/Üvegházhatás, és https://pangea.blog.hu/2017/06/13/klimavaltozas_vagy_interglacialis?)



5 million and 800,000 years of temperature



Above: Earth's Climate History: Implications for Tomorrow James E. Hansen and Makiko Sato — July 2011

'According to a recent compilation of proxy data, the global mean annual temperatures around 8 to 6 ka were about 0.7°C higher than for pre-industrial conditions (Marcott et al., 2013)' IPCC AR5 2014

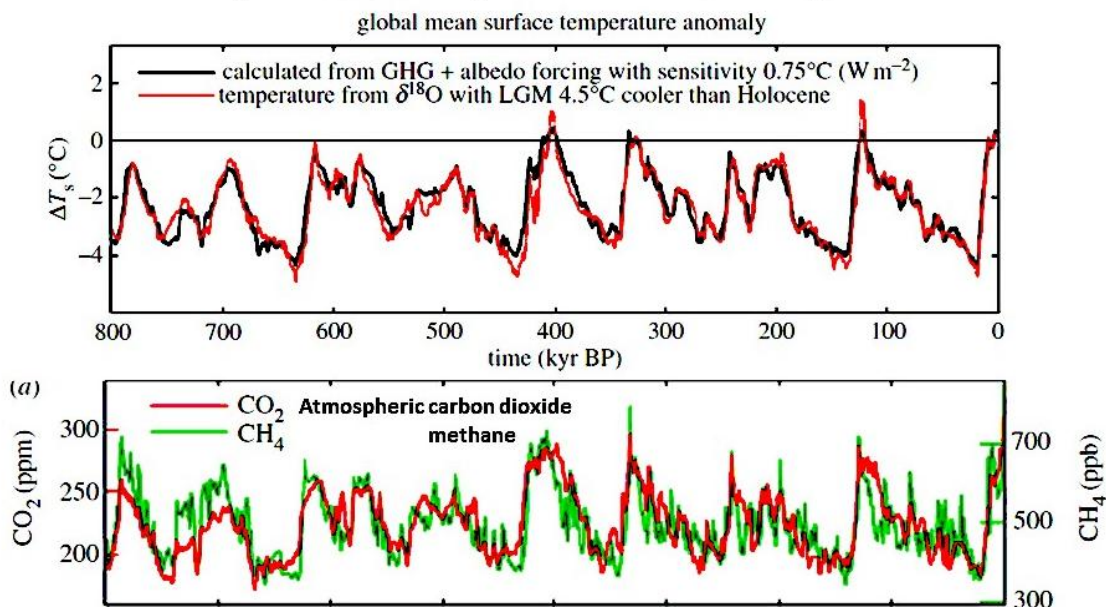
'The prior interglacial period, the Eemian, was at most ~2°C warmer than 1880-1920'

J. Hansen Dec 2013

'Eemian... global warming of +1.7°C 'relative to the present interglacial before industrialization'

J. Hansen Sept 2013

800,000 years of atmospheric GHGs and global temperature change



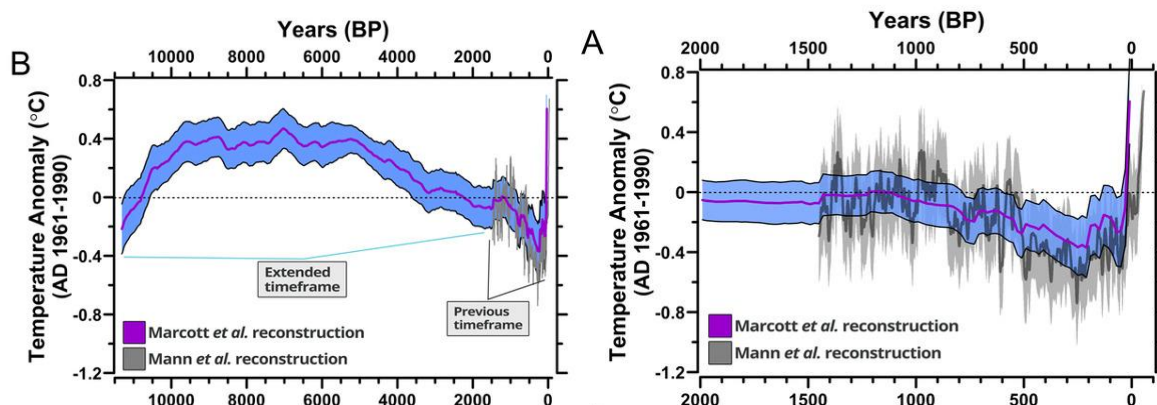
Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide James Hansen et al Figure 6. Calculated surface temperature for forcings of figure 5c with a climate sensitivity of 0.75°C per Wm⁻², compared with 2 × T₀. Zero point is the Holocene (10 kyr) mean.

(forrás: static.secure.website/wscfus/9167827/uploads/Hansen_paleo_800_Temp_CO2_CH4.png, és www.stateofourclimate.com/long_trends.html)

A globális hőmérséklet ingadozása a legutóbbi 800 000 éves ciklust vizsgálva hasonóságot mutat a légköri széndioxid (CO₂) változással, amely metán (CH₄) változási görbével korrelál.

Az éghajlat a Föld története folyamán állandóan változik. Ez a változás hol lassabb, hol gyorsabb. E változásokat elsősorban kozmikus okok (a Föld pályaelem-változásai, a Nap sugárzásában bekövetkezett változás, a Naprendszer helyzete stb.), tektonikai események (kontinensek elhelyezkedése és vándorlása, vulkanizmus stb) idézik elő, amelyeket részben ismertek, de nagyobb részben valószínűleg ismeretlenek (különösen konkrét mértéküket tekintve). A változások gyorsaságával és lassúságával kapcsolatban azt lehet megállapítani, hogy akár százmillió éves periódusok is előfordulnak, de nem ritka, hogy évtizednyi idő alatt következik be klímaváltozás, sőt egyik évről a másikra is jelentős változások történhetnek. Ezek oka lehet pl. rendkívüli nagy vulkánkitörés vagy kozmikus égitest becsapódása. Sokszor azonban nem tudjuk a hirtelen változás okát. Így senki sem számított pl. a múlt században a negyvenes évek közepétől a hetvenes évek közepéig terjedő hideg periódusra. Az éghajlat kialakulása számos tényező bonyolult kölcsönhatásának az eredménye.

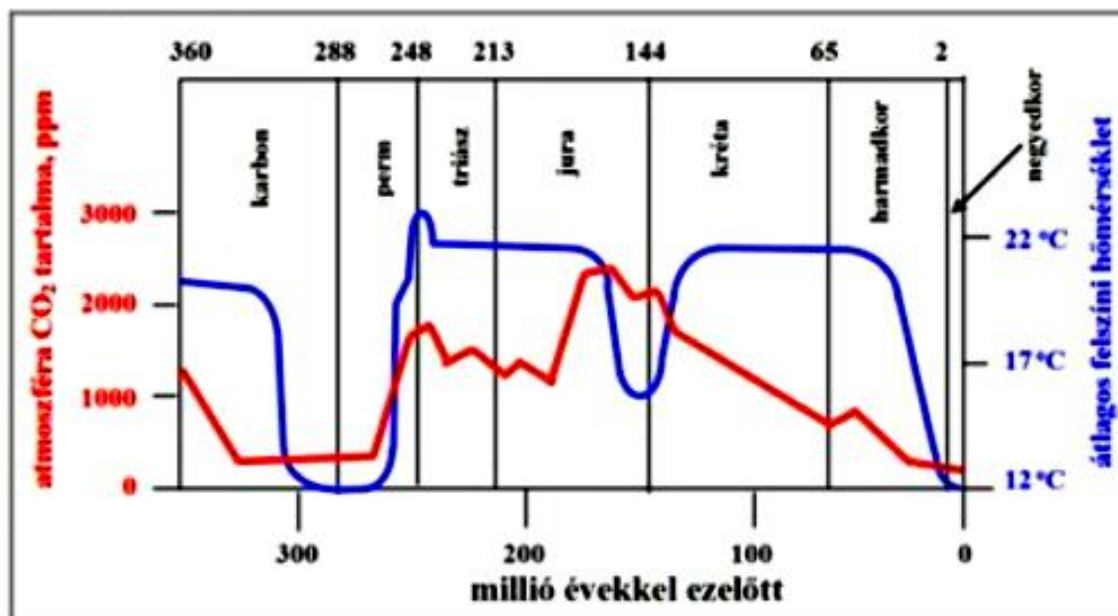
Hogy a légkör szén-dioxid-tartalma és a földi átlaghőmérséklet összefüggése nem egyértelmű, azt kétség kívül mutatja, hogy „...a nem kiugróan meleg kambrium elején a szén-dioxid-tartalom a mai érték tizennyolcszorosa volt, míg a jóval melegebb kréta időszakban csupán hatszorosa.” (Császár és mtsi) A jégfurat mérések szerint az Antarktison a hőmérséklet-emelkedés kb. ezer évvel megelőzi a CO₂ növekedését. Ugyanakkor a szén-dioxidnak, más üvegházhatású gázokkal együtt, jelentős szerepe volt és van a globális hőmérsékleti viszonyok kialakulásában.



(forrás: www.zmescience.com/research/studies/global-temperatures-reaching-11000-years-peak/)

A hőmérsékleti görbe a végén emelkedik, de ezer éven keresztül az ingadozások ellenére a hőmérséklet végig az utóbbi évek értéke alatt marad. A középkori meleg periódus (kb. 800-tól 1200-ig) idején Grönlandon gabonát arattak. Egyéb adatokból is világos, hogy akkor a globális hőmérséklet magasabb volt, mint napjainkban.

(termeszettvilaga.hu/szomok/tv2011/tv1103/berenyi.html, cikk alapján)

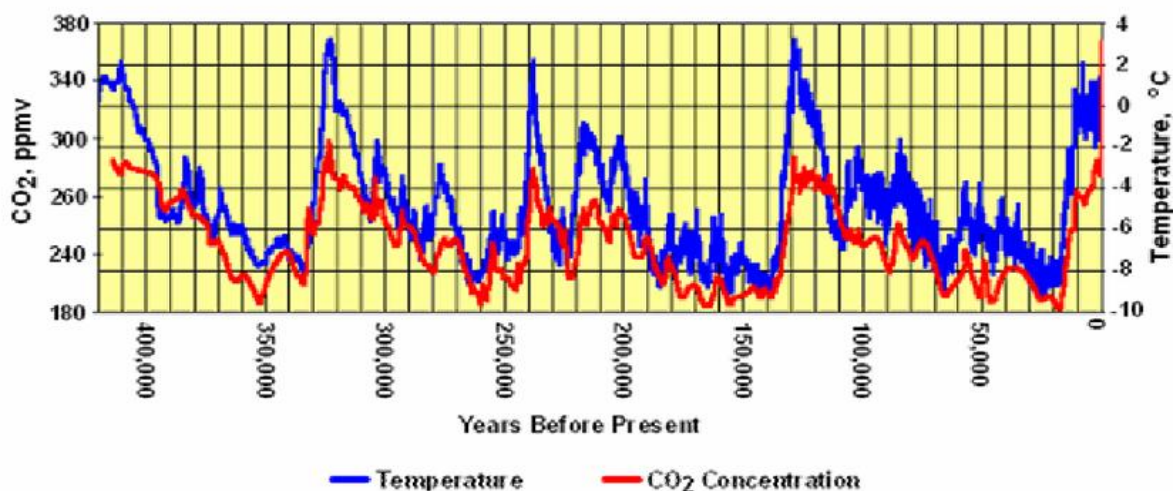


Földtörténeti léptékben nincs egyértelmű korreláció a felszíni hőmérséklet és a levegő CO2 tartalma között

(forrás: www.youtube.com/watch?v=XFOQKK8BLOk)

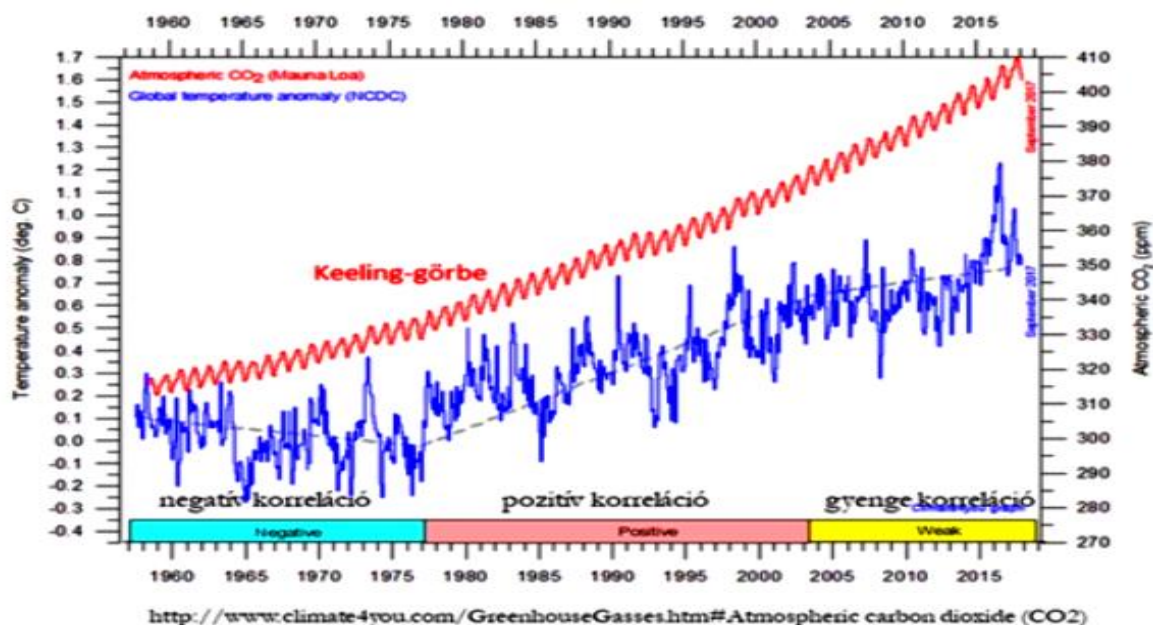
A Paksi Energetikai Kerekasztal (PEK) és a TMMK Energetikai Szakcsoport közös rendezvénye. Az időpont 2022. 04. 26. Helye: Paks Csengey Dénes Kulturális Központ, Nagyklubterem. „Klimabarát energiapolitika”

Befolyásolhatjuk-e az éghajlatot az energiapolitikai intézkedésekkel. Előadó: Dr. Héjjas István kutató-fejlesztő mérnök)



(forrás: www.researchgate.net/figure/Vostok-Antarctica-Ice-Core-Data-420-000-years-Back-from-Present_fig1_237135591)

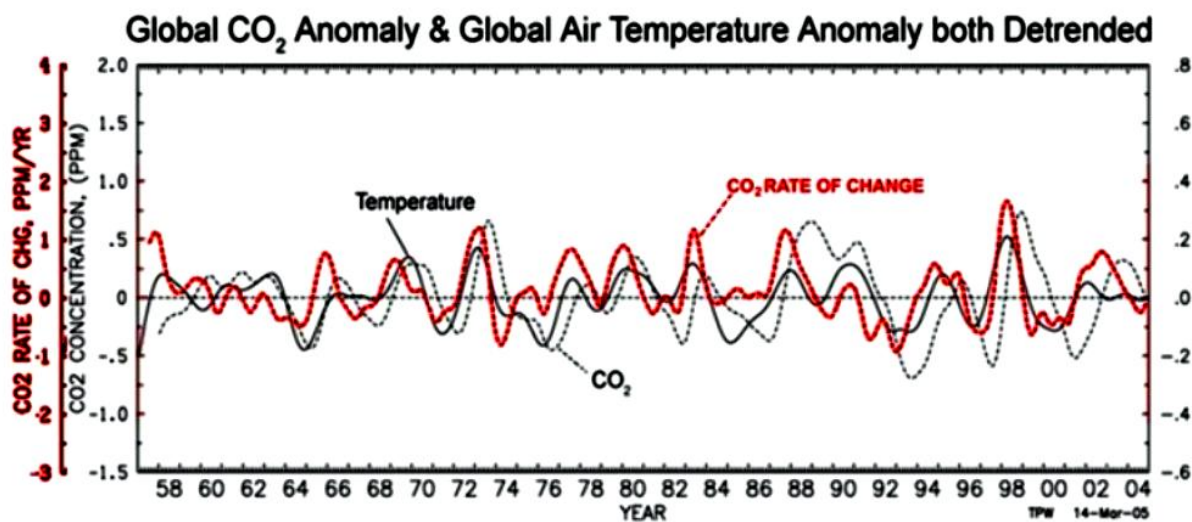
Több ezer éves távlatban van ugyan korreláció azonban a CO₂ változás az utóbbi 400 ezer év során 800±200 éves késésben van a hőmérséklet változáshoz képest.



(forrás: kaltesonne.de/stellungnahme-von-fritz-vahrenholt-zum-entwurf-des-klimaschutzgesetzes-des-landes-sachsen-anhalt/)

A legutóbbi 150 év során a CO₂ és T közötti korreláció szakaszosan változott.

1958-2004: ΔT előbb van, ΔCO_2 később

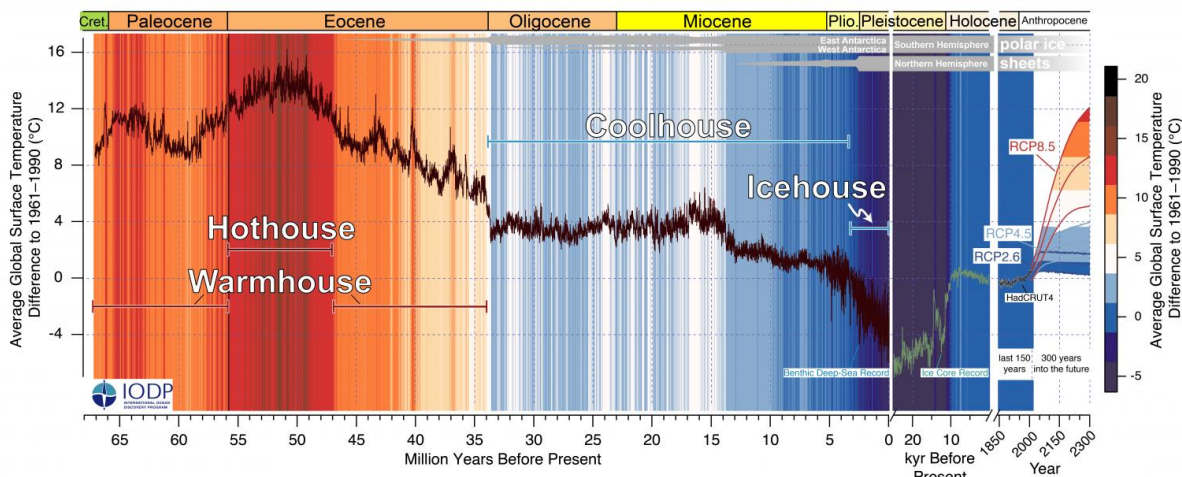


Charles David KEELING (2005, Tyler Prize Lecture) ΔT ΔCO_2 $\Delta CO_2/\Delta t$

(forrás: www.youtube.com/watch?v=fYcUtK7HRY4)

Hazánk és a környezetbiztonság, Dr. Szarka László Csaba geofizikus-mérnök, az MTA rendes tagja, akadémikus előadása, Energiapolitikai Hétfő Esték 190., 2019. jún. 21.)

A hőmérséklet változást követi a CO₂ változás.



(forrás: Westerhold et al., CENOGRID, <https://masfelfok.hu/2020/10/29/eghajlati-rezsimvltas-nagyon-gyorsan-atkerulhetunk-a-jegesbol-a-forroba/>)

Az elmúlt 66 millió év és az éghajlati modellekkel becsült jövőbeni globális felszínközeli hőmérsékleti trendek 2300-ig az 1961-1990-es időszakra vonatkozó referencia átlagértékhez képest.

A meleg időszak során a hőmérséklet globálisan 5 °C-kal, míg a forró időszak során 10 °C-kal volt magasabb, mint napjainkban.

Jelenleg az elmúlt 66 millió év leghidegebb klímaállapotában vagyunk, jeges időszakban („icehouse”).

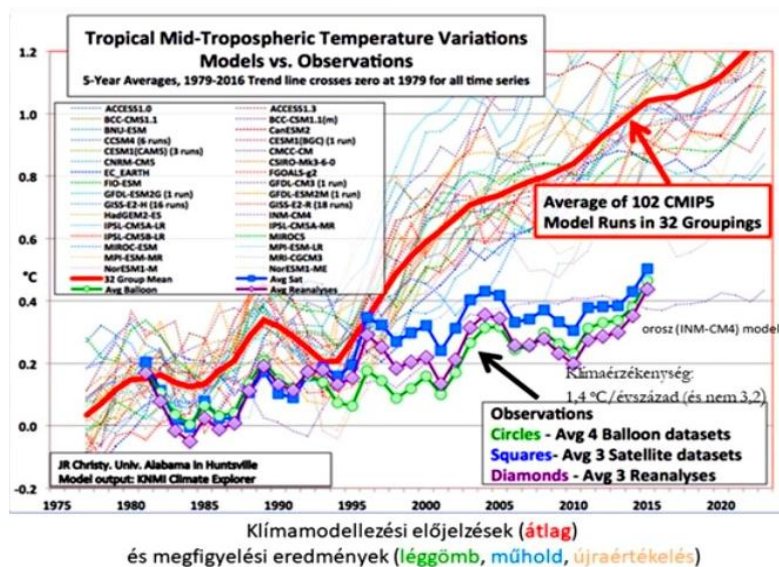
A következő háromszáz év várható hőmérsékleti trendje három különböző éghajlati forgatókönyv alapján a legoptimistábbtól (RCP 2.6) a leg pesszimistábig (RCP 8.5).

(forrás:

Dr. Szarka László

Csaba geofizikus-
mérnök előadásából.

www.bing.com/videos/search?q=SZARKA+LÁSZLÓ+AKADÉMIKUS&view=detail&mid=B46E19F49E6DDFB50199B46E19F49E6DDFB50199&FORM=VIRE)



Modell és valóság.

A piros görbe 102 klíma modell átlageredményét mutatja, a zöld, kék, lila görbék pedig a tényleges mért értékek alapján kerültek megrajzolásra. A modellezett eredmények (egy kivételével) átlagosan kétszer akkora várható felmelegedést jósolnak mint a mért értékek.

A fajok sokszínűségének csupán töredéke ismert,

a szárazföldi élőlények 86 százalékát, a tengerben élőknek pedig 91 százalékát nem fedezték még fel.

Az eddigi, a globális faji sokszínűséget illető becslések meglehetősen eltérőek voltak: a szakértők 2 - 100 millió közé tették a fajok számát.

A Hawaii Egyetem és a kaliforniai Halifaxi Egyetem munkatársai egy új elemzési technika segítségével - a törzset és az osztályt vették alapul és abból becsülték meg a fajok számát - arra az eredményre jutottak, hogy a Földön 8,7 millió (plusz-mínusz 1,3 millió) faj él. Az összes faj egynegyede az óceánokban él - írták tanulmányukban Camilo Mora és kollégái a PLoS Biology folyóiratban (Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AGB, Worm B (2011) How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? PLoS Biol 9(8): e1001127. doi:10.1371/journal.pbio.1001127).



(forrás: earthsky.org/earth/new-census-we-share-earth-with-millions-of-unknown-species)

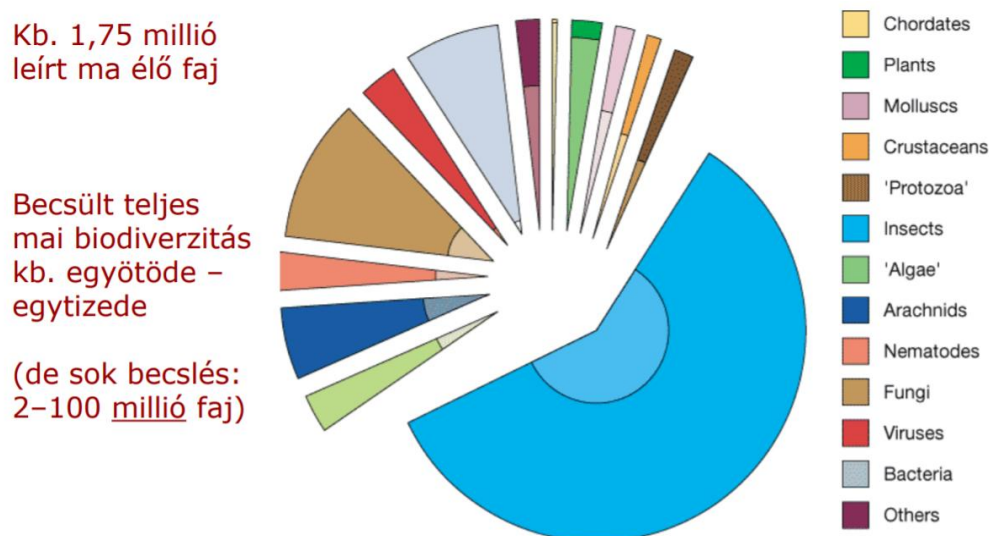
Az elemzésbe a tudósok csak azokat az élőlényeket vonták be, amelyek rendelkeznek sejtmaggal - ezek az úgynevezett eukarióták. A sejtmaggal nem rendelkezőket (prokarióták) amelyekre nem értelmezhető a „faj” általánosan elfogadott meghatározása, például a baktériumokat, nem vették figyelembe a számítások során.

A 7,77 millió állatfaj (amelyből 953 434-et írtak le és katalogizáltak), 298 000 növényfaj (amelyből 215 644-et írtak le és katalogizáltak), 611 000 gombafaj (amelyből 43 271-et írtak le és katalogizáltak), 36 400 protozoa (állati egysejtű szervezetek, amelyekből 8118-at írtak le és katalogizáltak), 27 500 chromista (ide tartoznak például a különféle színesmoszatok, amelyekből 13 033-at írtak le és katalogizáltak).

Összesen tehát nagyjából 8,74 millió eukarióta faj él a Földön.

Az ismert fajok legalább 95 százaléka gerinctelen – kb. 63 000 faj tartozik egyedül a holyvafélék (Staphylinidae) családjába, ez közel megegyezik a gerinces fajok számával. Földünkön legalább egymillió ismert rovarfaj él, friss kutatások szerint azonban 5,5 millió létezhet (Stork 2018).

A faj fogalmának legelterjedtebb meghatározását Ernst Mayr, a 20. század evolúcióbíológájának egyik kiemelkedő alakja adta. E szerint a fajt olyan ténylegesen vagy potenciálisan egymással ivarosán szaporodni képes populációk alkotják, amelyek más hasonló csoportoktól a szaporodás szempontjából elkülönülnek. Ez a fajfogalom természetesen nem alkalmazható az ivartalanul szaporodó élőlényekre.



(forrás: eloadas.elte.hu/eloadasok/PJ_16mar16.pdf)

A biodiverzitás a biológiai sokféleség az élet megnyilvánulási formáinak rendkívüli változatosságát igyekszik kifejezni. Ez a változatosság az élővilág talán legfontosabb jellemzője, amely az élővilág fennmaradásával kapcsolatos aggodalmakkal párhuzamosan került az érdeklődés előterébe.

A Föld teljes fajállományának kicserélődését nagyjából tízmillió évre tehetjük. Ma nincs a Földön olyan faj, amelyik 20 millió éve létezett volna – leszámítva néhány perzisztens fajt (tartósan fennálló) mint például az "élő kővületek". Ezt alapul véve a Földön valaha létezett fajok számossága minimum a 150 milliós értéket eléri, de százmilliárdig is elmehet. Ebből a valaha létezett 0,15–100 milliárd fajtól ma nem egészen negyedmilliót ismerünk. A fentiek alapján az „ismert” fajok száma valószínűleg még kisebb, mivel nagyon sok olyan fajt írtak le, amely összevonható lenne más leírt fajokkal. Ezeknek nagyobb része csak töredékes leletből ismert, és a töredékek értelmezése körül permanens heves vita folyik. (forrás: www.wikiwand.com/hu/Kihalások_okai)



A present day Nautilus compared with one '167 million' years old.



A fossil of a dinosaur-era ray *Belemnobatis sismondae* is almost identical with a modern Shovel-nosed Ray *Rhinobatos productus*



A fossil herring, 65 plus 'million' years old is similar to a living one.



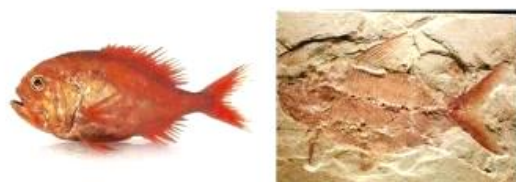
Note the similarity between the '170-million'-year-old fossil *Ginkgo* sp. and the leaves of the living plant.



A '445-million'-year-old Horseshoe crab is no different to specimens alive today. It possessed the same complex features and equipment as do present day ones.



A '490 million' year old starfish is very similar to a living one.



Nematonutus, a Cretaceous period ('146-65 million' years ago) fossil fish is very similar to an Orange Roughy.

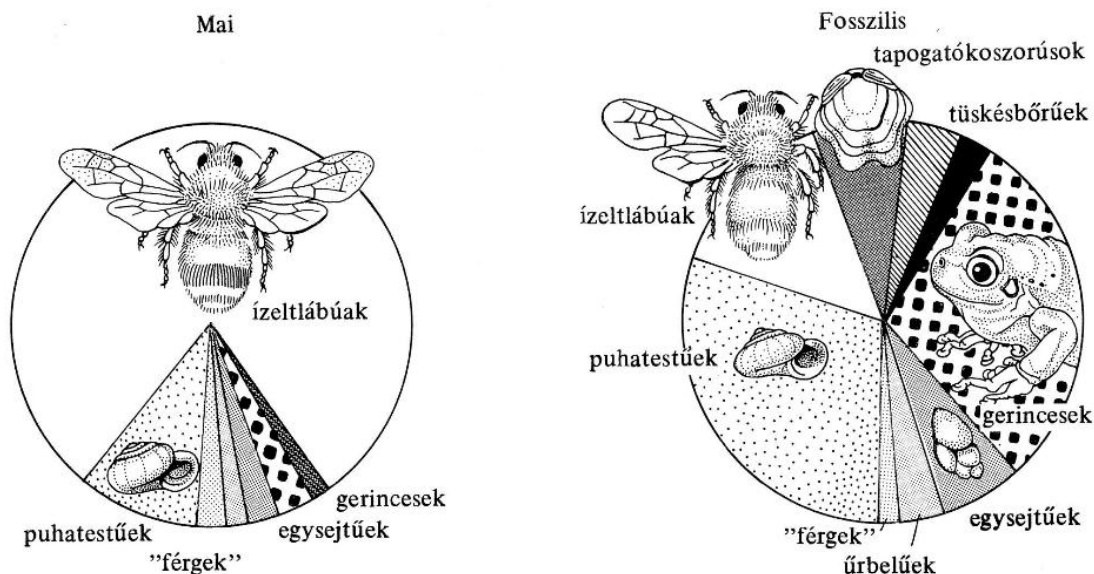
¹ The photos of fossils: Nautilus and Starfish are compliments of fossilmuseum.net and the Herring, Ginkgo, Horseshoe Crab and *Nematonutus* are compliments of fossilmuseum.com.

(forrás: www.adeffenceofthebible.com/2016/03/21/living-fossils/)

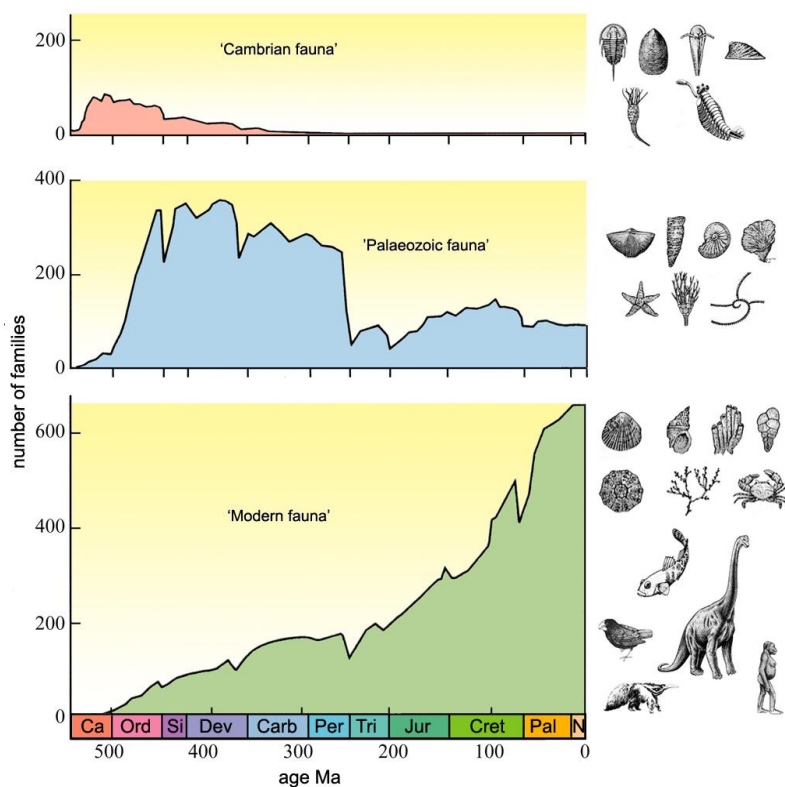
„Élő kövület” alatt azokat az élőlényeket (általában fajokat vagy nemzetségeket) értjük, amiket fosszíliaiból is ismerünk, évmilliókon át, a kihalási eseményeket túlélve szinte változatlanul fennmaradtak vagy egy olyan leszármazási vonal tagjai, amelynek teljes rokonsága már régen kihalt – ez a perzisztencia (tartós fennmaradás) jelensége.

A fosszília formájában ismert fajok

száma negyed millió lehet, tehát mindössze 3-15%-a (más becslések szerint csak 0,25%-a) a ma élő fajoknak. Ezek a fajok pedig az utolsó 600 millió év különböző korú rétegeiből kerültek elő. Nyilvánvaló tehát, hogy csak elenyésző töredékei az egykori életnek. Annyi bizonyos, hogy a fossziliák története nem azonos az élet történetével. Az élet sokkal gazdagabb volt annál, mint amennyi belőle fennmaradt.

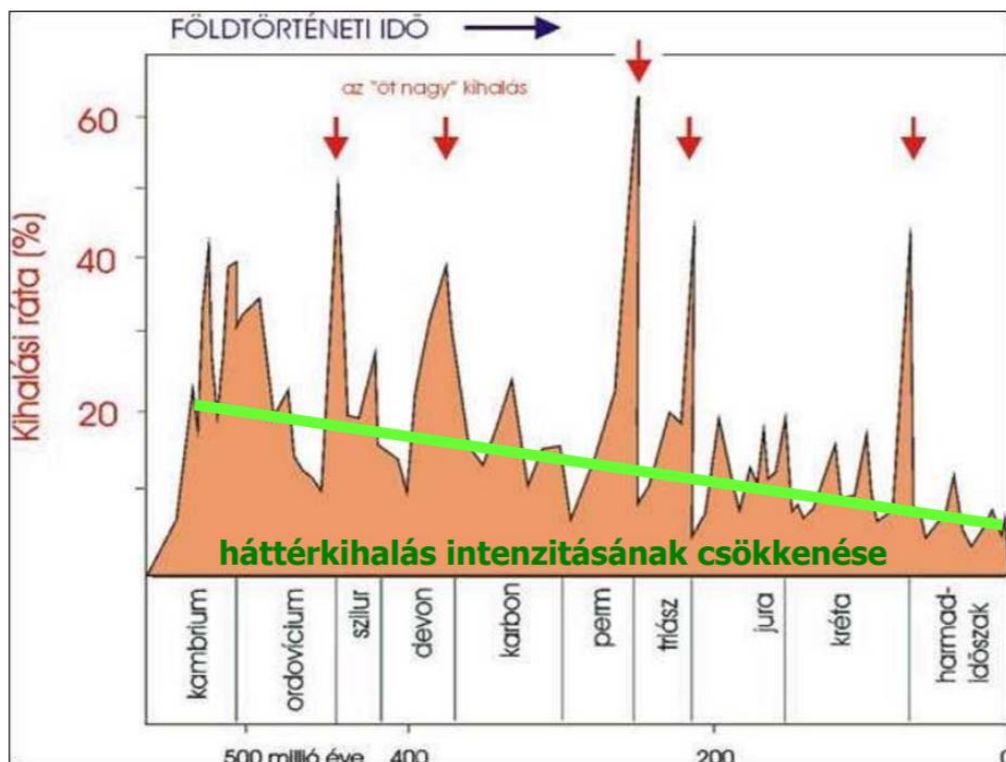


A különböző törzsek faj szám szerinti megoszlása A: a mai és B: a fosszilis anyag alapján. (Géczy Barnabás: Óslénytan, 1989.)



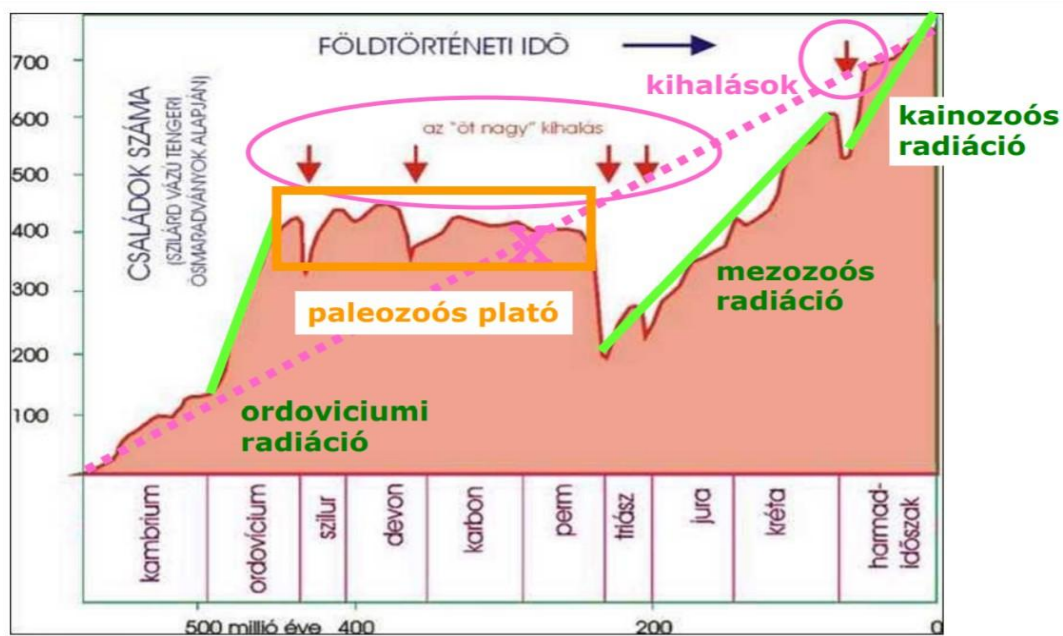
(forrás:
earthstep.wordpress.co
m/2016/06/11/chapte
r-20-reaching-for-new-
horizons/)

Az ábra a Sepkoski-féle evolúciós faunát mutatja: a kambriumi, a paleozoikum és a „modern” állatvilág változatos sokszínűségét, kiemelve néhány jellemző példát.



Sepkoski, 1996 nyomán

A háttérkihalás intenzitása csökkenő tendenciát mutat.



Sepkoski, 1996 nyomán

(forrás: elodas.elte.hu/elodasok/PJ_16mar16.pdf)

A kihalási események után a diverzitás (sokféleség, a családok száma) növekszik.

Az öt nagy tömegkihalást 1982-ben Jacl Sepkoski és David. M. Raup írták le.

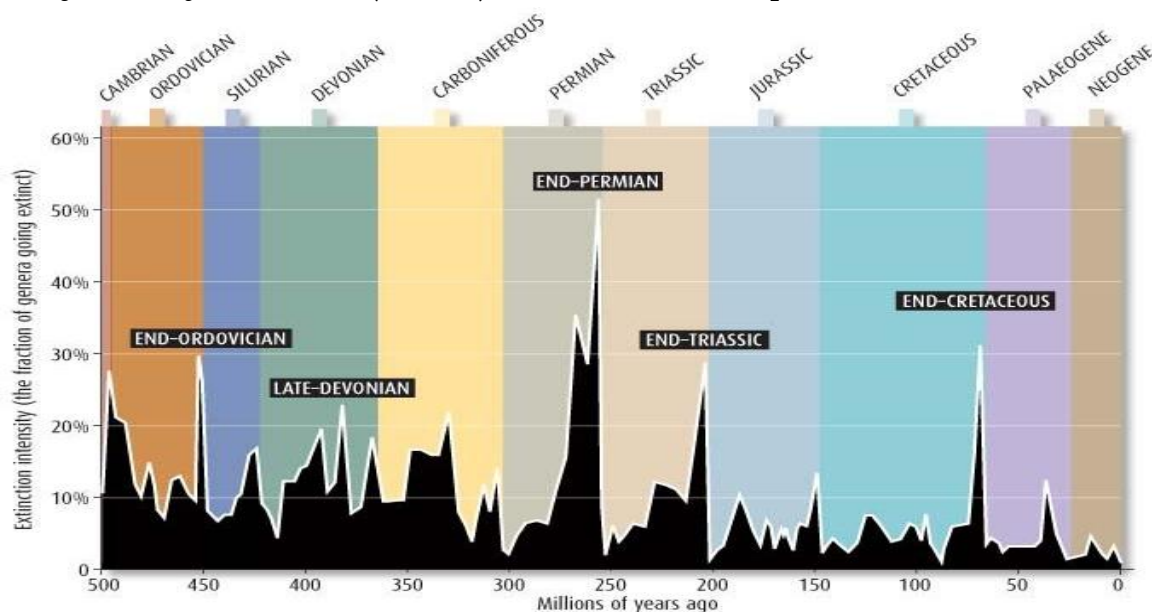
A biodiverzitás (biológiai sokféleség) alakulása

a földtörténet során (a fajok feletti szerveződési szint, azaz a nemzetségek számával kifejezve). A nagyobb szürke nyilak az öt nagy kihalási hullámot jelzik (A szürke terület az összes, a kék a jól feldolgozott nemzetségekre vonatkozik.)

Egy faj 1-10 millió évig létezik. A fajok száma folyamatosan növekszik.

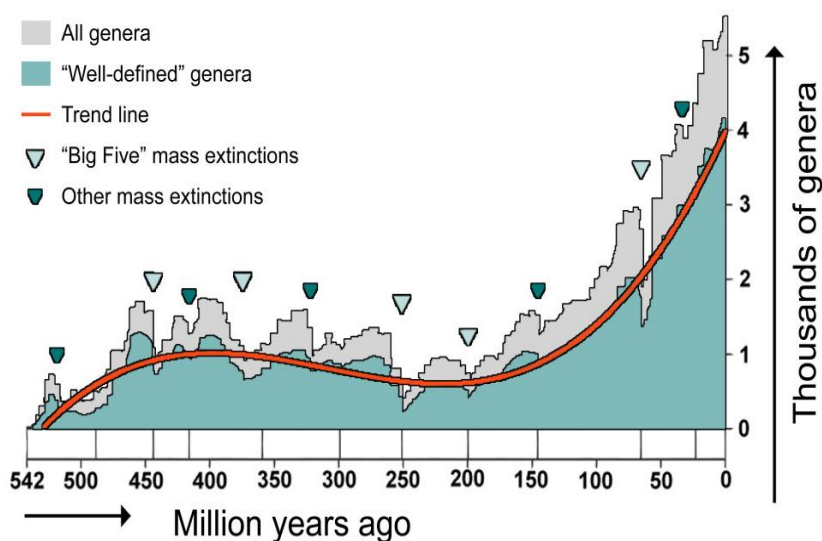
A biológiai sokféleség szintje valószínűleg magasabb, mint valaha.

Ez a sokféleség a földtörténet során mindig változott, átalakult, így a valaha élt fajok túlnyomó része (99%-a) az ember színrelépése előtt már kihalt.



(www.scienceforums.net/topic/88704-mass-extinctions-6-lifeforms-0/)

A nemzetségek kihalás intenzitása (a kihalt nemek „genera” százalékos arányát) jeleníti meg az évmilliók függvényében.)



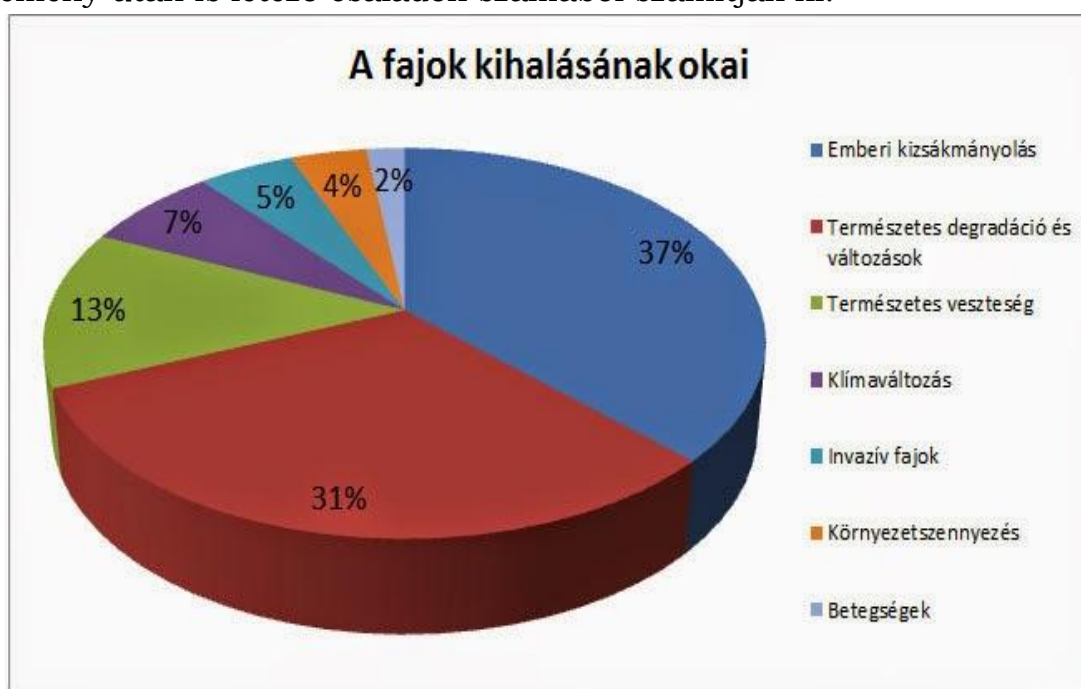
(forrás:

A Rohde, R.A., és Muller, R.A. adatai alapján (2005. március). „Ciklusok a fosszilis sokféleségben”. Természet 434 (7030): 208–210., és inesad.edu.bo/developmentoast/2015/02/homo-rapiens-species-extinction-and-the-meaning-of-life/)

Tömeges kihalást több földtörténeti időből ismerünk,

okai azonban erősen vitatottak. A kihalás önmagában egy-egy rendszertani kategória (törzs, osztály, rend, család, nemzetség, faj) eltűnését jelenti.

Minden kihalási eseményt a fajpusztulás százalékos arányával jellemeznek. Nem szabad elfelejteni, hogy ezek az adatok mindig számított fajpusztulást jelentenek, sosem a ténylegesen leírt fajok számarányának változását. A fajpusztulás mértékét a kihalási esemény előtt létező és az ezekből az esemény után is létező családok számából számítják ki.



(forrás: Burgmann Nóra, zoldmatek.hu/mi-lehet-a-kihalasi-esemeny/)

Még az egyes fajpusztulásoknak is, de főleg a tömeges kihalásoknak sokkal bonyolultabb, összetettebb mechanizmusa van annál, mint hogy egyetlen meteoritbecsapódás megmagyarázhatná. Ennek elsődleges bizonyítéka, hogy több mint száz, a Chixclubuéhoz hasonló méretű meteorit becsapódásának nyomát ismerjük, de közel sem okozott mindegyik globális katasztrófát. A kihalásoknál természetes okokkal kell számolni, amelyekre ráerősíthet egy Földön kívüli eredetű kataklizma.

A Föld éghajlata sokszor és drasztikusan megváltozott az elmúlt 600 millió év során. Ezeket legtöbbször a tektonikus mozgások által megváltoztatott hőkiegyenlítő rendszerek okozták. Éghajlatváltozásokat földi vulkanizmus is okozhat.

Az evolúció természetes velejárója a kihalás. Vannak olyan élőlények, amelyeknek fogyatkozása vagy pusztulása láncreakciót indít el, ezek jellemzően a tápláléklánc alján lévők, mivel az egész rendszer rájuk épül.

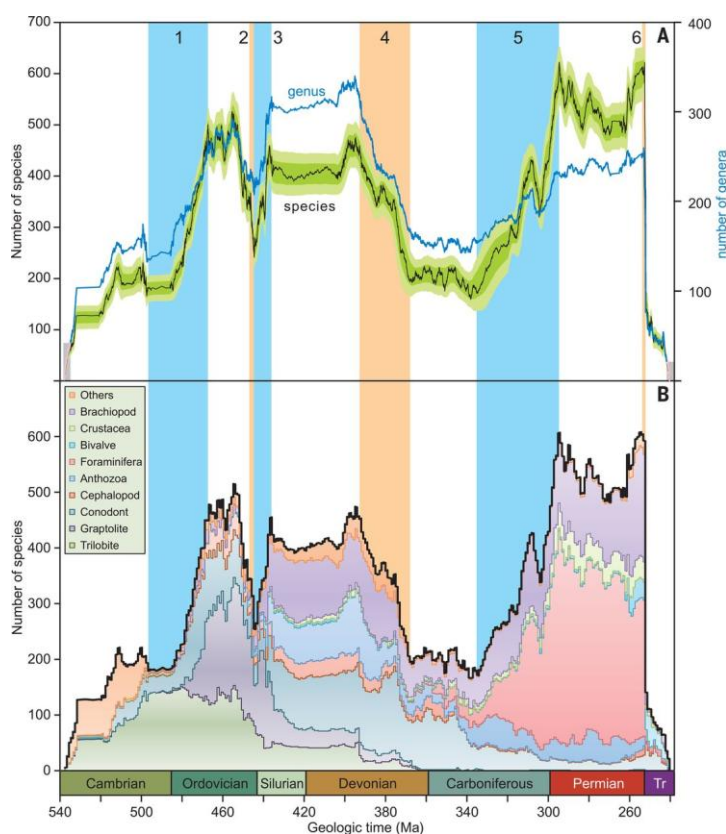
Sok élőlény nem hagy maga után kövületeket, és amelyek hagynak, azoknak is csak igen kicsiny részét találjuk meg, épp ezért is lehet nehéz eldönteni egy-egy állatcsoport látszólagos eltűnése kapcsán, hogy valóban valamilyen átalakulás volt-e az élővilágban, például egy kihalás, avagy csupán a körülmények változtak a maradványok fennmaradásához, vagy azok megtalálásához kevésbé kedvezőre.

Egy kínai-amerikai kutatócsoport a világ egyik legerősebb szuperszámítógépével mérte fel a kambriumtól a korai triászig terjedő időszak tengeri gerinctelen faunája sokszínűségét. Az 540-250 millió évvel ezelőtti ősmaradványok 11 ezer példányát vizsgálták meg a Tienho-2 (kínai Nemzeti Szuperszámítógép Központ, Kanton) segítségével.



Nagyjából az 1960-as években kezdték el szisztematikusan vizsgálni a fossziliákat, és ekkor bukkantak rá azokra a nagy kihalási eseményekre, vagy épp igen gazdag élővilágú korszakokra.

Azonban ezeket kb. 10 millió éves időskálán tudták csak elhelyezni, mivel a kövületek korát sem sorolták be ennél sokkal finomabb felbontással.



(forrás: Jun-xuan Fan¹, Shu-zhong Shen, Douglas H. Erwin, et al., A high-resolution summary of Cambrian to Early Triassic marine invertebrate biodiversity, *Science* 17 Jan 2020: Vol. 367, Issue 6475, pp. 272-277, DOI: 10.1126/science.aax4953, <https://science.sciencemag.org/content/367/6475/272>)

A grafikonon a paleozoikus nemzetség és a fajok sokféleségének általános pályái (A) és a fajok sokfélesége (B). A 11 ezer faj 10 fő fosszilis csoportból.

A kínai vezetésű kutatócsoport kb. 3000 különböző, kínai lelőhelyeken lévő, ám globális elterjedésű kőzetréteg fossziliáit mérte fel. Ezt követően szoftveresen elemezték, hogy az egyes fajok mikor bukkantak fel és mikor haltak ki. Ehhez azt a lehetőséget ragadták meg, hogy egyes fajok általában több kőzetformációban is megtalálhatóak, több százezer vagy millió éven keresztül is. Így kapták meg az egyes fajok élettartamának alsó és felső határértékeit, mind a 11 ezer vizsgált fajra vonatkozóan.



(www.facebook.com/egenfoldonfoldalatt/posts/987787974938423)
Szuperszámítógép keresett régi kihalási eseményeket. (2020. január 19.)

Az elvégzett elemzések révén 26 ezer év pontossággal megkapták ezen időszak élővilágának időskáláját, benne az egyes fajok, élőlénycsoportok fellendülését, virágzását, kihalását.

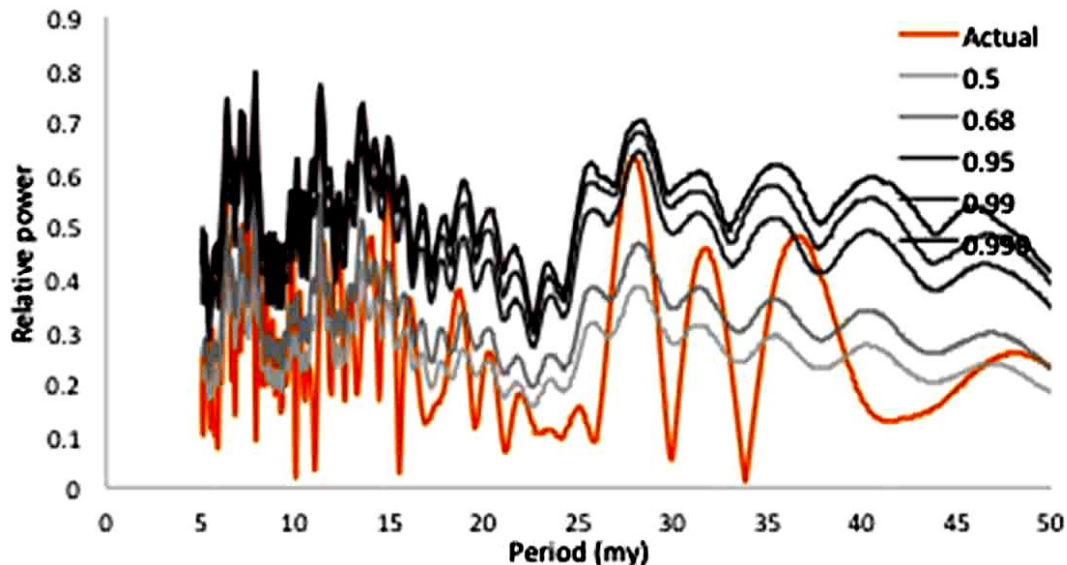
Számos, ma is ismert kihalási vagy virágzási eseményről derültek ki újabb részletek az adatfeldolgozásnak köszönhetően, így pl. a 252 millió éve volt perm végi kihalásról: mintegy 80 ezer évvel a kihalás ideje előtt már csökkenni kezdett a biológiai sokszínűség, és maga a kihalási esemény kb. 60 ezer éven át tartott.

Emellett a kutatás eredménye szerint egy másik, kisebb kihalási esemény megtörténte kétségessé vált, a guadalupai korszak végi (260 millió éve), és a karbon közepi, tengerszint-változáshoz kötött kihalásról, amelyekben feltételezések szerint tengeri fajok sokasága tűnt el, az elemzés úgy találta, valószínűleg nem is volt kihalási esemény, csak néhány fajt érintő zavar.

A kutatás legfontosabb érdeme azonban az, hogy a kisebb időskálára elhelyezett változásokat a környezeti változásokhoz sokkal jobban lehet majd viszonyítani, így az egyes változások okait is a korábbinál sokkal nagyobb bizonyossággal lehet majd feltárni. Szintén fény derülhet a kisebb mértékű kihalásokra

Egy kutatócsoport a szárazföldi és a tengeri élőlények ciklikus eltűnését vizsgálta arra az eredményre jutott hogy ~27,5 millió évente történnek tömeges kihalásokat okozó kataklizmák a Földön. Az is kiderült, hogy e katasztrófális események egybeesnek a nagyobb aszteroida-beecsapódásokkal és bazaltáras vulkánkitörésekkel.

Ez utóbbiak hosszú távon az üvegházhatású gázok felhalmozódását okozhatják, amik drasztikusan megváltoztathatják az éghajlatot és savasabbá tehetik az óceánokat. Az eredményeket a Historical Biology című tudományos folyóiratban közzétették.



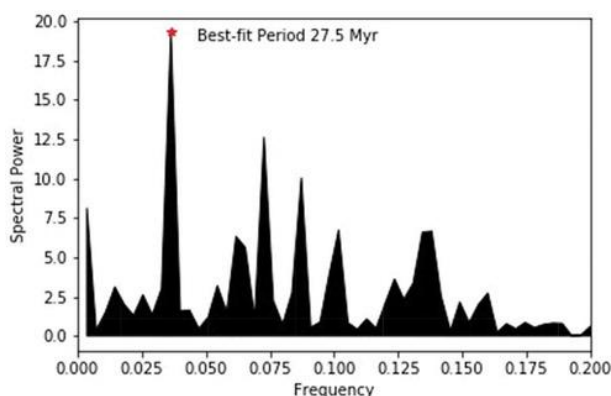
(www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08912963.2020.1849178)

Az elmúlt 260 millió év nem tengeri tetrapodák 10 kihalási epizódjának korának spektruma 5-től 50 millió évig terjedő időszakokra, Stothers (1991) körkörös spektrális elemzési módszere alapján.

A legmagasabb csúcs (> 95%-os konfidencia) a 27,3 millió év időszakban következik be. Két másik alacsony frekvenciájú csúcs fordul elő kb. 32 és 36,9 millió év (a 27,3 millió év ciklus ~ 6/5 és 4/3 harmonikusai)

„A nem tengeri tetrapodák (kételtűek, hüllők, madarak és emlősök) az elmúlt 300 millió év alatt láthatóan legalább 10 különféle intenzívebb kihalási epizódot szenvedtek el. A tíz nem tengeri kihalási esemény közül nyolc párhuzamos az ismert tengeri kihalási epizódokkal, amelyek korábban bizonyítékot szolgáltatottak egy mögöttes ~ 26,4 és 27,3 millió év közötti időszakra. Körkörös spektrális elemzést és Fourier-transzformációs elemzést végeztünk a tíz elismert tetrapod-extinkciós esemény koráról, és statisztikailag szignifikáns (99%-os konfidencia) mögöttes ~ 27,5 millió év periodicitást detektáltunk. Megállapítottuk azt is, hogy a nyolc egyidejű nem tengeri / tengeri kihalási impulzus mind a nagy magmás tartományok (LIP-k) (kontinentális árvíz-bazaltok és óceáni fennsíkok) kitörésekor következett be, potenciálisan súlyos környezeti hatásokkal.

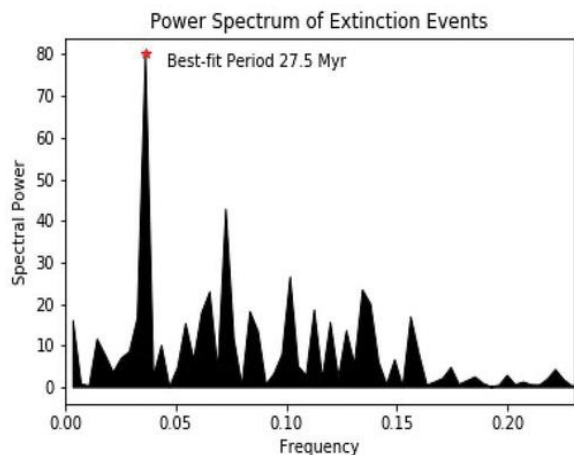
Ezen együtthalási epizódok közül három további korrelációt mutat az utolsó 260 millió év három legnagyobb (≥ 100 km átmérőjű) becsapódási kráterének életkorával, amelyek szintén látszólag képesek kihalási események kiváltására. Ezek a megállapítások arra engednek következtetni, hogy a globális kataklizma események, amelyek mögöttes periodicitása $\sim 27,5$ millió év volt, a nem tengeri tetrapodák és a tengeri élőlények összehangolt periodikus kihalási epizódjainak okai voltak.”



Az elmúlt 290 millió év 10 éves kihalási epizódjainak energiaspektruma a Fourier-féle transzformációs elemzés alapján (Gasquet és Witomski 1999).

A legjelentősebb csúcs ($\geq 99\%$ -os konfidencia) 27,5 millió év.

Konfidencia (megbízhatósági) intervallum, melybe a mérési eredmények az adott P valószínűséggel 99% (esetleg 90% vagy 95%) beleesnek. A választott valószínűség a megbízhatósági szint. Ha a vizsgálatot többszöri mintavétellel is elvégezzük, akkor a számított konfidencia-intervallum az esetek 99%-ában tartalmazni fogja a paraméter pontos értékét.



A Fourier transzformációs elemzés eredményei (Gasquet és Witomski 1999) az elmúlt 290 millió év 23 kombinált tengeri és nem tengeri kihalásának kora.

A legmagasabb spektrális csúcs a 27,5 millió év.

(forrás: Michael R. Rampino, Ken Caldeira, Yuhong Zhu:

A 27.5-Myr underlying periodicity detected in extinction episodes of non-marine tetrapods Received, 26 Sep 2020, Accepted 07 Nov 2020, doi.org/10.1080/08912963.2020.1849178, www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08912963.2020.1849178)

A Földön 27,5 millió évente történik tömeges kihalási esemény a tanulmányban foglaltak szerint.

„Ez a jelenség talán bolygónk Tejútrendszerben megtett útjára vezethető vissza” – írta a New York-i Egyetem által kiadott sajtóközleményben Michael Rampino biológus, a tanulmány vezető szerzője.



(illusztráció forrása: www.wykop.pl/link/4269637/ogromna-asteroida-niebezpiecznie-blisko-ziemi-zauwazono-ja-w-ostatniej-chwili/)

Nem csak a tömeges kihalási események esetén figyelhető meg periodicitás, a kráterek vizsgálata alapján kiderült, hogy az aszteroidák és üstökösök Földre csapódása a kihalásokkal egybeeső rendszerességet mutat.

Asztrofizikusok korábbi számításai szerint 26-30 millió évente üstökösök záporoznak a Naprendszerre.

Ennek oka, hogy a nap és a körülötte keringő bolygók a mozgásuk során a tejútrendszer középső síkjába kerülnek.



(forrás: img.gulf-times.com/Content/Upload/slider/820201173938976657976.jpg)

Ehhez képest van egy másik elmélet is, ami a naprendszer szélén lévő Oort-felhőben található óriási (eddig nem azonosított) égitest gravitációja okozhatja, hogy időnként rengeteg aszteroida indul el a Föld felé.

Ekkor olyan gravitációs hatások érik rendszerünket, amiknek eredményeképpen könnyen nagyobb égitestek csapódhatnak a Földnek. Az ütközések apokaliptikus állapotokat – sötétséget, hideget, bozóttüzeket, savas esőket, ózonpajzs-roncsolódást – idéznek elő bolygónkon.



(illusztráció forrása: www.express.co.uk/news/science/862008/siberia-volcano-great-permian-mass-extinction)

Ezek a vulkánkitörések elképesztő nagyságú területeket borítanak be bazaltlávával, ilyen volt a jól ismert Dekkán-trap vagy a Szibériai-trap bazaltáras kitörése. E kitöréseknek is jelentős környezeti változásokat okozó következményei vannak, amelyek az életre nézve rendkívüli kihívásokkal járnak.

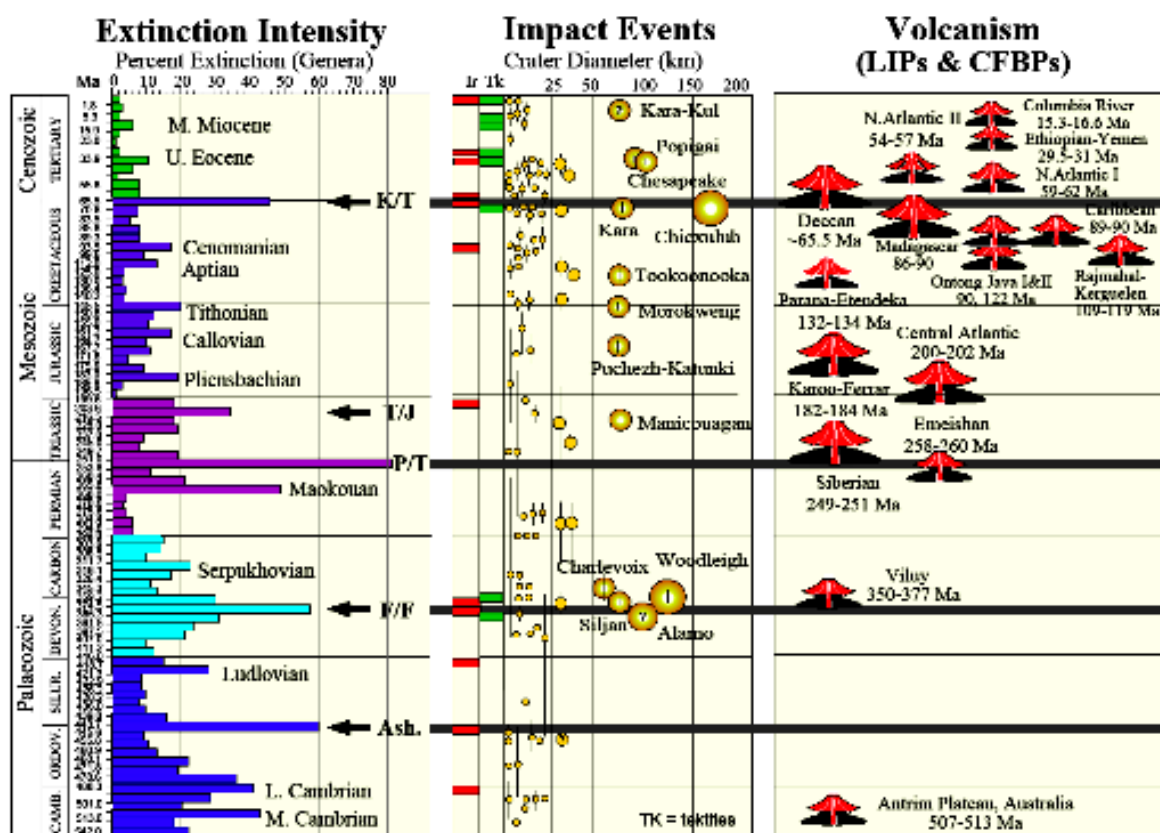
A kutatók úgy vélik, hogy a bazaltáras vulkanizmus ciklusa mögött is lehet csillagászati okot keresni: egy 1998-as tanulmány szerint időnként a Naprendszer olyan, feltételezett sötét anyagból álló csomókon utazik keresztül galaktikus útján, amelyek a Föld belsejében extra hőhatást kifejtve indítják meg a bazaltáras vulkánkitöréseket. A kutatók úgy vélik, ezek az anyagcsomók egyrészt a gravitációs hatásukkal a becsapódásokra, másrészt a fűtő hatásukkal a kitörésekre fejtenek ki hatást.

(ng.24.hu/tudomany/2020/12/13/27-millio-evente-ismetlodhetnek-a-nagy-kihalasok/)



(illusztráció forrása: hu.pinterest.com/pin/352125264586593308/)

Rampino szerint „A kihalási események akkor következtek be, amikor a legnagyobb becsapódások, illetve a bazaltáras vulkánkitörések, vagy több esetben ezek talán együttesen zajlottak”.



Mass extinctions, impacts and large igneous provinces during the Phanerozoic. Stratigraphic subdivisions and numerical ages from the 2004 International Stratigraphy Chart (ICS). Genera compilation from Sepkoski (1996), Hallam and Wignall (1997) and MacLeod (2003); impact database from Grieve (1997), LIPs and CFBP database from Courtillot and Renne (2003). Note that the Chicxulub impact predates the K-T boundary by 120,000 years, based on the time scale of Gradstein et al. (2004). (Modified after Keller, 2005)

(forrás: Por Keller, G., Armstrong, H., Courtillot, V., Harper, D., Joachimski, M., Kerr, A., MacLeod, N., Napier, W., Palfy, J., Wignall, P. - Keller, G., Armstrong, H., Courtillot, V., Harper, D., Joachimski, M., Kerr, A., MacLeod, N., Napier, W., Palfy, J., Wignall, P., Volcanism, impacts and mass extinctions (long version) & 2012.,

<https://www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/November-2012/Volcanism-impacts-and-mass-extinctions-2>>.

Acesso em 18/nov/2018., CC BY-SA 4.0,

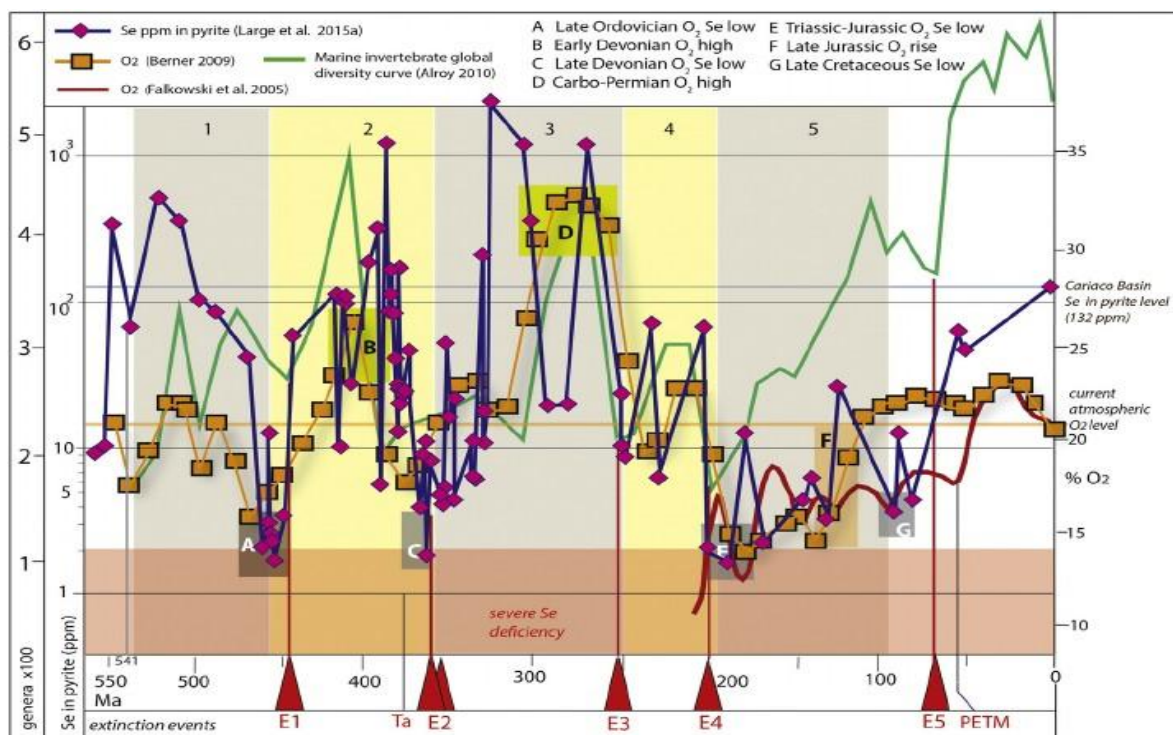
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=80802806>, és

www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/November-2012/Volcanism-impacts-and-mass-extinctions-2, és www.geolsoc.org.uk/keller)

A tömeges kihalások, becsapódások és nagy magmás provinciák korának korrelációja. (Courtillot & Renne 2003 nyomán).

A szelénről nemrégiben kiderült, hogy létfontosságú szerepet játszik a fitoplankton fotoszintézisében.

A kutatók véleménye szerint az ordovi, a devoni és a triász időszak végén a óceánokban a kritikusan alacsony szelénszint befolyásolta a planktonok túlélését, ami végül az élelmiszerlánc összeomlásához és kihaláshoz vezetett.



(forrás: John A. Long, Ross R. Large, Michael S.Y. Lee, Michael J. Benton, Leonid V. Danyushevsky, Luis M. Chiappe, Jacqueline A. Halpin, David Cantrill, Bernd Lottermoser: Severe selenium depletion in the Phanerozoic oceans as a factor in three global mass extinction events, www.researchgate.net/publication/283491983_Se_depletion_ms, Volume 36, August 2016, Pages 209-218, Gondwana Research (2015), <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.10.001>, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1342937X1500235X, és John Long és Ross Large: Elementary new theory on mass extinctions that wiped out life, 2015., <https://phys.org/news/2015-11-elementary-theory-mass-extinctions-life.html>, és <https://theconversation.com/elementary-new-theory-on-mass-extinctions-that-wiped-out-life-48806>)

A szelén kimerülés és bőség az óceánokban az elmúlt 550 millió évben. Ennek a létfontosságú nyomelemnek a kimerülése három fő kihalási eseménynél (piros háromszög) kimutatható, ami azt sugallja, hogy ez lehetséges tényező ezekben a kihalásokban.

Különösen nyomelemekre, például cinkre, rézre, kobaltra, mangánra és szelénre van szükség az életben olyan dózisokban, amelyek nagyon specifikus tűréshatárokkal rendelkeznek. A túl sok vagy a kevés szelén mérgező lehet. A szelén toleranciaszintje a fitoplankton, a puhatestűek, a halak, valamint számos szárazföldi növény és állat esetében jól ismert.

A jegesedés és az óceánokban tapasztalható oxigénhiány az összes tengeri gerinctelen faj mintegy 60% -ának pusztulásának általános magyarázata. De adatok azt mutatják, hogy egy súlyos szelén-kimerülési esemény történt a kihalások kezdete előtt, ami megfelelő időt biztosított az élelmiszerláncok összeomlásához.

Új adatok azt mutatják, hogy a szelén kimerülésének hosszan tartó szakasza legalább 10 millió évvel ezelőtt történt, amikor az oxigén elérte a legalacsonyabb pontot.



Egy másik kérdés az, hogy a szelén, - amely úgy tűnik, hogy nagyon jó a múltbeli oxigénszint meghatározásához - volt-e a fő hajtóereje az óceánok oxigénvesztésének, amely a kihalásokat okozta, vagy maga szelén volt a kihalások fő oka.

(forrás:

phobosproject.blogspot.com/2015/11/estin-zioni-di-massa-carenza-minerali.html)

A tápanyagok körforgását, az óceánok életének egész táplálékláncát, az alapvető nyomelemek ellátását a lemezes tektonika vezérli. A hegyek emelkedése a lemez szélén a kéreg felszínének erózióját okozza, amely lehetővé teszi, hogy a nyomelemek folyókba mosódjanak és a tengerbe kerüljenek.

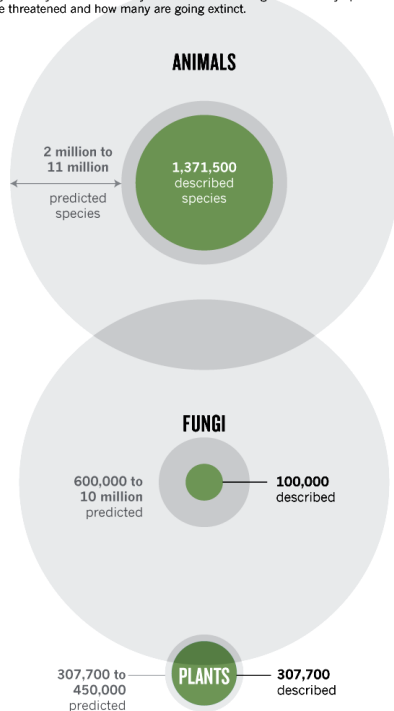
Ha a tektonika mozgása lassú, az erózió csökken, és ezeknek a tápanyagoknak a vízben oldódása lelassul, akkor megkezdődik bizonyos elemek kimerülése.

A tömeges kihalásoknak mégis megvan a jó oldaluk. A természeti katasztrófa eredményeként felszabaduló új élőhelyek nélkül nem alakulhatnának ki más fajok számára új ökológiai fülkék (niche).

Az emlősök előtérbe kerültek a dinoszauruszok hanyatlása után, és így ma itt vagyunk, főleg ezeknek a sok millió évvel ezelőtti tömeges kihalási eseményeknek köszönhetően.

How many species are there?

Estimates of the number of species of animals, fungi and plants vary significantly. That uncertainty clouds understanding of how many species are threatened and how many are going extinct.



Amint az előzőekben kiderül, a kutatók nagyon nehezen tudják megbecsülni a létező fajok számát, amelynek legfőbb oka, hogy a halak és rovarok létező fajairól nagyon kevés ismeret áll rendelkezésre.

A veszélyeztetett fajok vörös listáján (ami a kihalással veszélyeztetett fajokat sorolja fel) csak az emlősök, madarak, kételtűek és rovarok száma 5522.

A teljes lista közelít az ötvenezer fajhoz.

A tudósok próbálták megbecsülni, hogy a teljes élővilág hány százaléka hal ki évente.

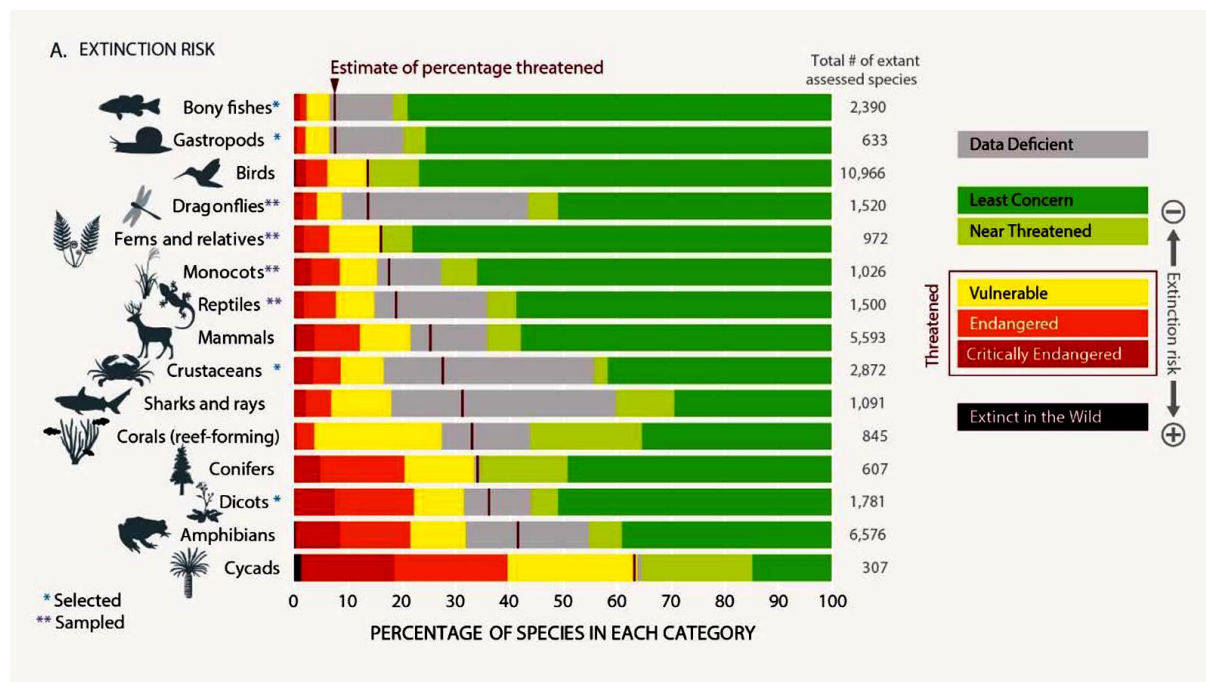
Ez a nem túl pontos arányt 0,01 % és 0,72 % között van.

A legmagasabb aránnyal számolva 2200-ra a ma élő fajok 75%-a eltűnne a földről.

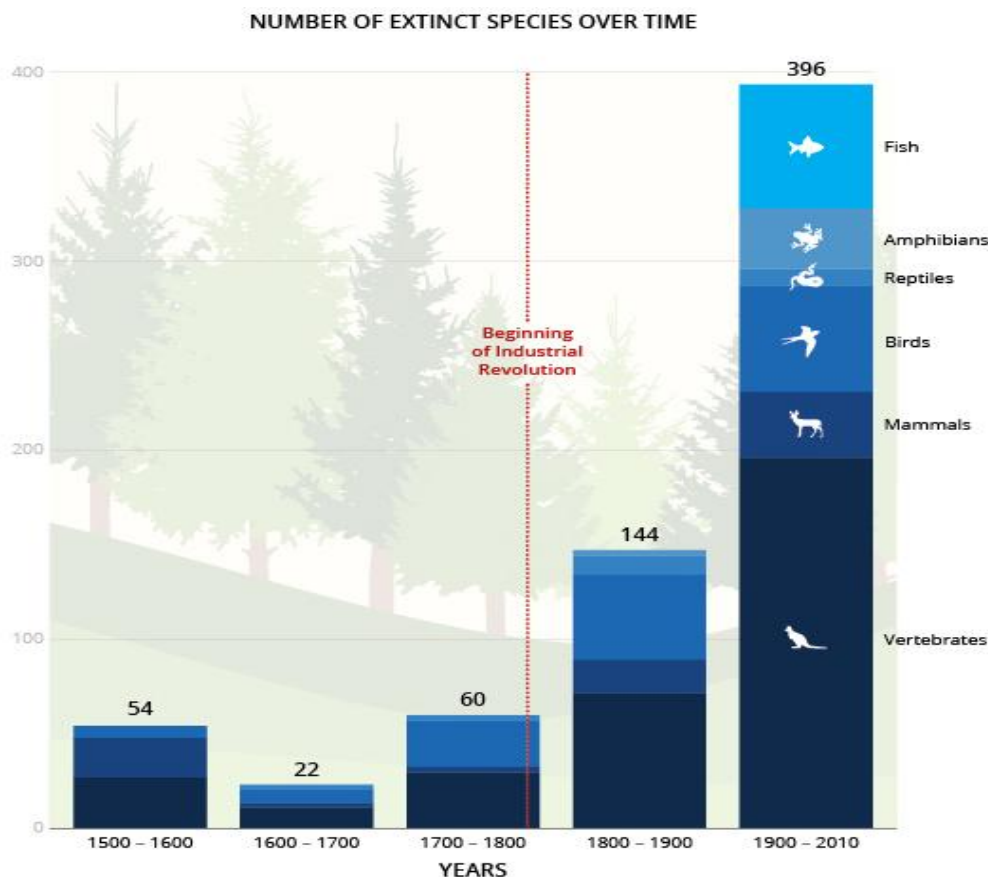
Ezt a hatalmas veszteség, amikor viszonylag rövid időn belül az élővilág jelentős része kihál a „kihalási eseménynek” kategóriájába kerülne.

(forrás: www.nature.com/news/polopoly_fs/7.22332!/file/GraphicPDF.pdf)

Ha a legkisebb becsült 0,01 % kihalási aránnyal számolunk, akkor még évezredekig nem következik be a kihalási esemény.



(forrás: grist.org/wp-content/uploads/2019/05/extinction-risk-chart.jpg, és <https://lp.panda.org/ipbes>)

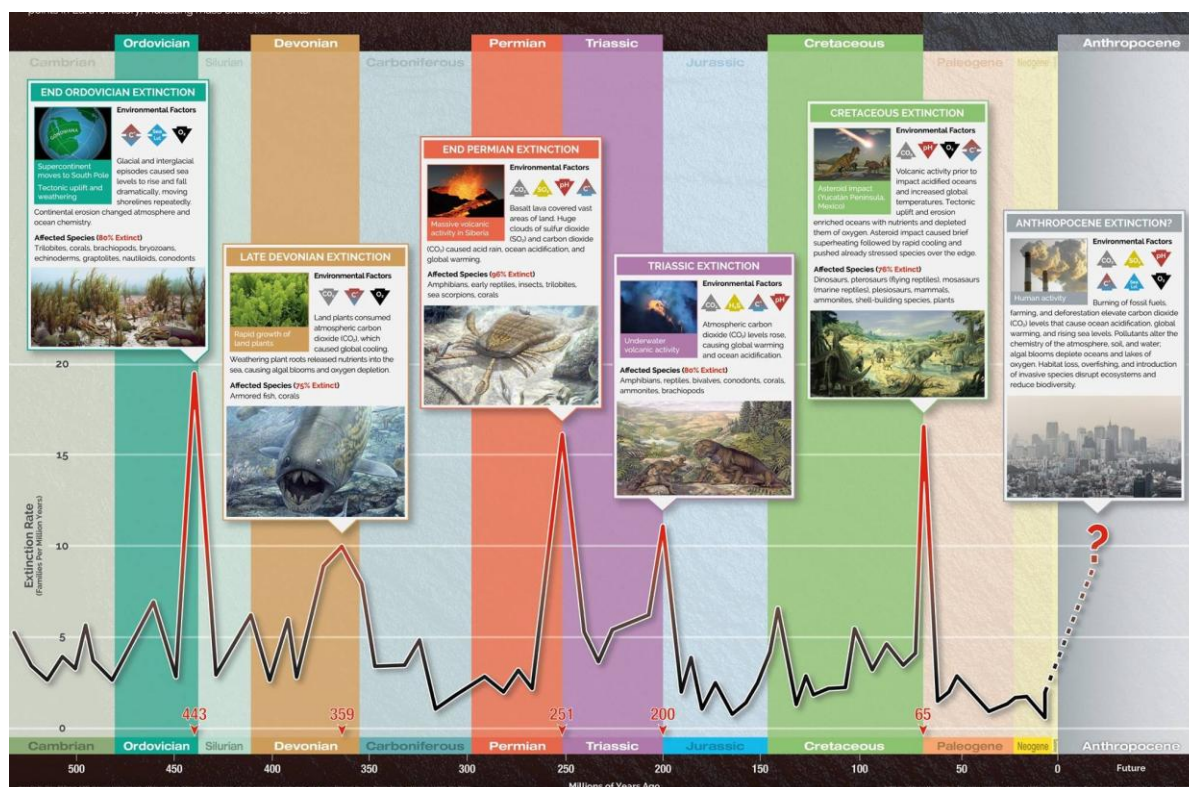


(forrás: (forrás: Gerardo Ceballos, Paul R. Ehrlich, Anthony D. Barnosky, Andrés García, Robert M. Pringle, Todd M. Palmer: Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction, Science Advances 19 Jun 2015: Vol. 1, no. 5, e1400253, DOI: 10.1126/sciadv.1400253, és <https://advances.sciencemag.org/content/1/5/e1400253.full>, és www.ay-va.pareymedia.com/news/nature/noticia-la-sexta-extincion-en-masa-en-la-tierra-ya-ha-comenzado.html#.YArUWTmg9ZW)

Az ábra 1500-től mutatja a szárazföldi gerinces kihalt fajok számát (a függőleges piros vonal az ipari forradalom kezdetét jelöli az időskálán).

Jelenleg a madarak- emlősök 1%-a hal ki 100 évenként, a természetes ráta 100-1000-szerese. 1750-1850 között 100 emlős- és madárfaj pusztult ki, pedig a természetes kihalási ráta csak 1 faj kihalását indokolná. A természetes kihalás 1 faj, az ember által okozott kihalás 99 faj.

Jelenleg a fajok kihalásának okai között 37%-ban az emberi kizsákmányolás vezet (vadászat, halászat), ezt 31%-kal a természetes degradáció és változások és 13%-ban a természetes veszteség követi. A klímaváltozás hatása 7%, az invazív fajok 5%-ért felelősek, a környezetszennyezés 4%-ban és a betegségek 2%-ban felelősek a fajok kihalásáért.



(forrás: www.astronaut3.com/category/graphic-design/)

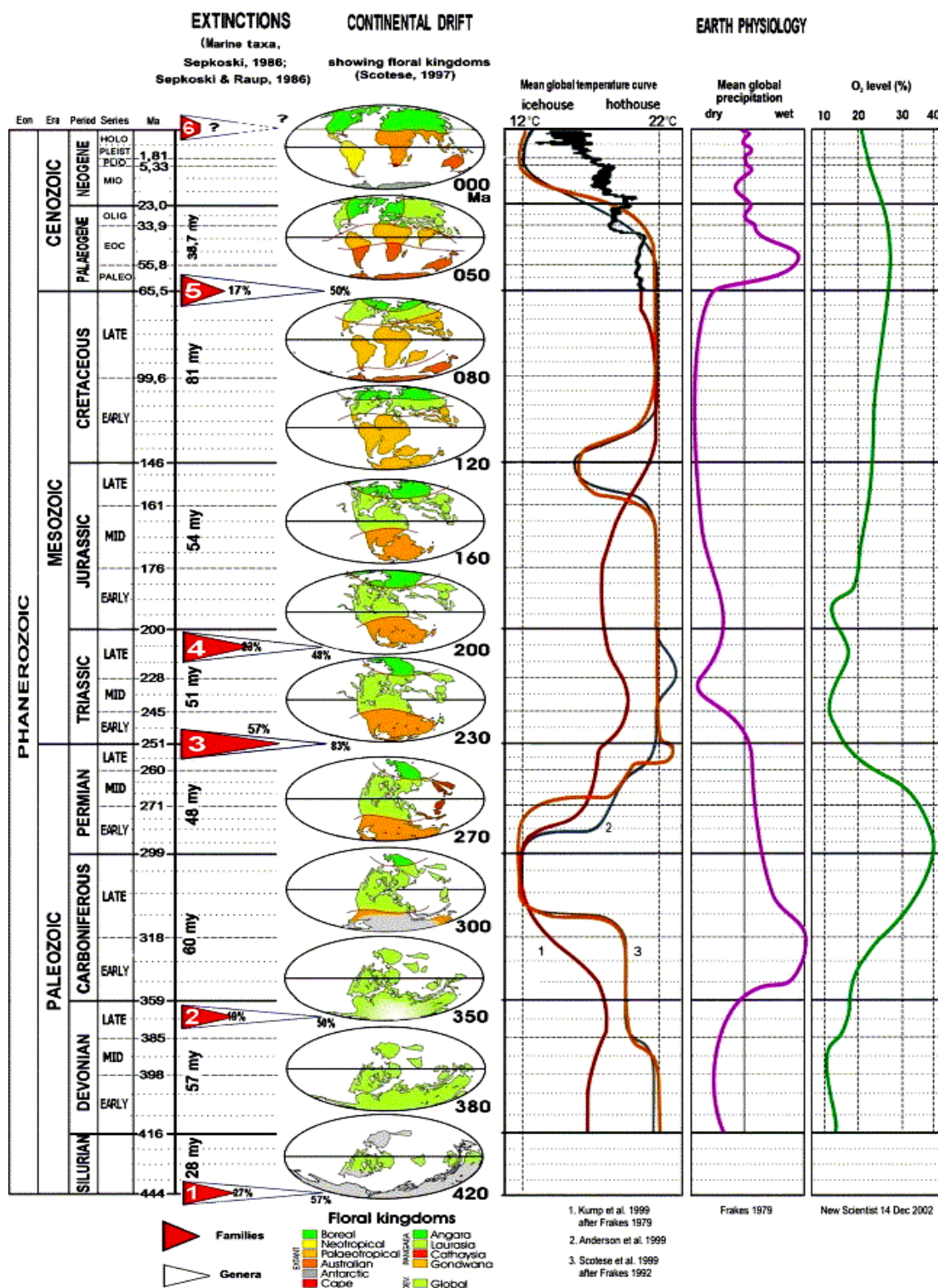
Családok kihalás intenzitása (a kihalt családok „families” százalékos arányát) jeleníti meg az évmilliók függvényében.)

A Stanford Woods Környezetvédelmi Intézet által vezetett kutatás eredménye összességében, hogy az értékelt növény- és állatfajok mintegy 25 százaléka veszélyeztetett. Az összes vizsgált fajcsoport több mint 40 százaléka, a tengeri emlősök több mint egyharmada, és a zátonyképző korallak körülbelül egyharmada a szakadék szélén áll. Riasztó, hogy a szerzők azt sugallják, a „kísérleti becslés” a rovarok 10 százalékát is kihalás fenyegeti, amelyek 75 százaléka a világ becsült ~8 millió fajának.

A tanulmány fő szerzője, Gerardo Ceballos (Mexikói Autonóm Egyetem) szerint attól tartanak, hogy a Föld fajainak 75 százaléka, amely ma is létezik, mindössze két generáció alatt elveszhet.

Az eredmények megerősítik a korábbi következtetéseket, hogy a Föld belépett a hatodik tömeges kihalási esemény fázisába.

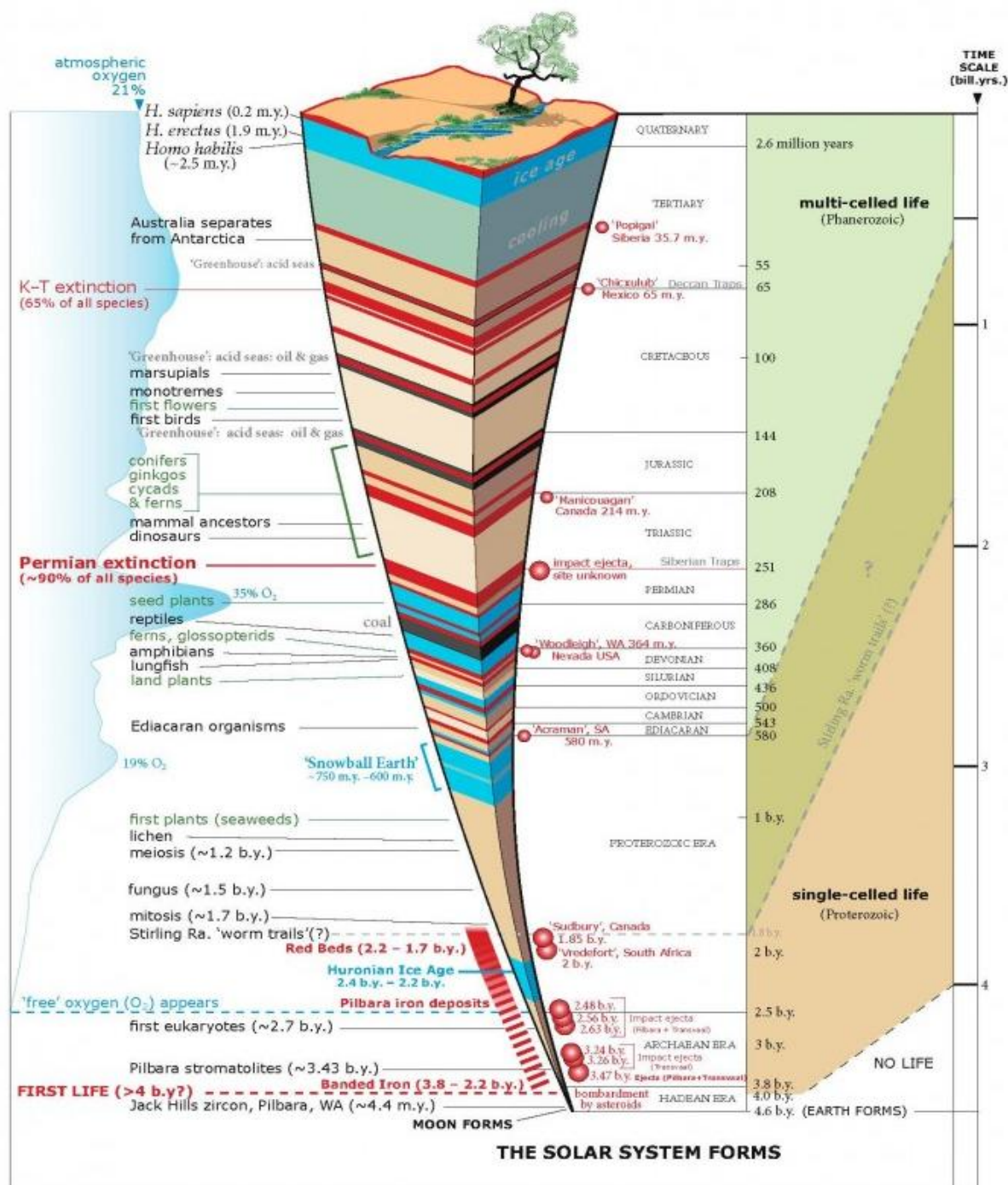
Paul R. Ehrlich professzor (Department of Biology, Stanford University, USA), és kollégái a tanulmányukban reményt mutatnak a jövőre nézve, mely szerint gyors védelmi erőfeszítésekkel egy ilyen drámai ökológiai esemény elkerülhető. Ha mégis bekövetkezne, akkor az emberiség létét fenyegetné.



(www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1464343X05001123, P. M. Burgoyne, A. E. van Wyk, J. M. Anderson, B. D. Schrire, Phanerozoic evolution of plants on the African plate, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.07.015>)

A kihalási események a földtörténeti időskálán, a kontinensvándorlás, az átlagos globális hőmérséklet és csapadék, valamint az oxigén szint változása.

Földtörténeti időskála



- = glaciális korszak (eljegesedési időszak hidegebb periódusa) köznapi értelemben „jégkorszak”
- = tömeges kihalás időszaka
- o kozmikus becsapódás (100-200 km átmérőjű égitest)
- O kozmikus becsapódás (>200 km átmérőjű égitest)

(regmorrison.edublogs.org/files/2013/05/Evolution-timescale-2g32cnm.jpg
regmorrison.edublogs.org/files/2013/05/Evolution-timescale-1w2ws0w.pdf)

A biológiában a rendszertan

az élőlények csoportosításával, leírásával, elnevezésével foglalkozó tudományág. Két szakterülete a szisztematika, amely az élőlények evolúciós rokonsági viszonyainak kutatásával foglalkozó tudomány és a taxonómia, amely az elnevezésekkel és katalogizálásokkal foglalkozó biológiai segédtudomány. A taxonómia tipizáló tudományág, tehát szükség van olyan mintára, amihez hasonlítani lehet a többit. A fajok esetében ezek a típusegyedek (holotípus), a génuszoknál a típusfajok.

Taxonnak nevezik az élőlények egyazon kategóriába sorolt és közös gyűjtőnévvel ellátott fajcsoportját, illetve egy adott fajtát. A legmodernebb filogenetikus osztályozási rendszerek csak akkor tekintik taxonnak az élőlények egy csoportját, ha annak tagjai kládot alkotnak, tehát monofiletikusak. A rendszertannak azt a formáját, melyben az élőlényeket kládok szerint osztályozzák, kladisztikának nevezik.

Amikor kialakult a rendszertan, akkor még nem tudtak az evolúcióról (Linné 1778-ban halt meg, Darwin pedig 1809-ben született). A rendszerezés alapja különböző külső bélyegek voltak, amik alapján sok esetben egy csoportba soroltak olyan növényeket, amik amúgy evolúciósan nem rokonok.

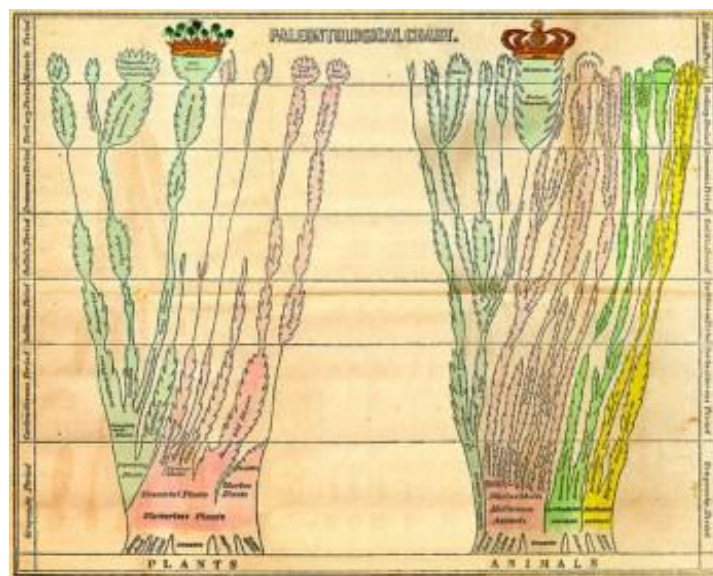
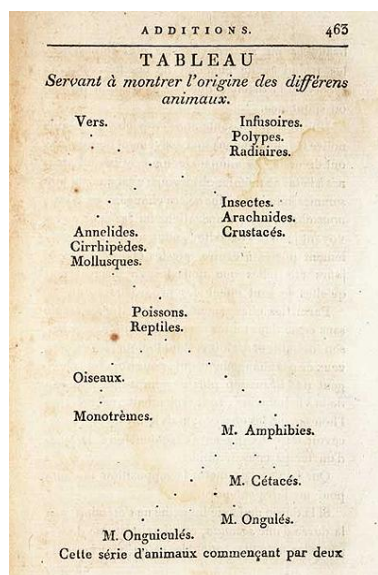
Olyan evolúciós elképzelések, mint a közös ő, vagy a fajok átalakulása legalább az i. e. VI. századtól léteztek. Ezen gondolatokat Anaximandrosz (kb. i. e. 610-546), görög filozófus, Empedoklész (kb. i. e. 495-435) görög filozófus képviselte, valamint a római filozófus és költő, Titus Lucretius Carus (i. e. 99-54), az arab biológus, Al-Jahiz (i. u. 781-868) és a Basra-i Ikhwan al-Safa („Tisztaság Testvérei”) X. vagy XI. századi névtelen iszlám filozófus csoport fejlesztette tovább.

Az élőlények első ismert rendszertanát Arisztotelész (i.e. 384–322) ókori görög filozófus állította össze.

A kínai filozófus, Csuang Csou (i. e. 370-300) vagy Csuang-ce („Csuang mester” taoizmus egyik legalapvetőbb szent könyve, filozófiai értekezés. Címét jelentése alapján gyakran használják a szerző, Csuang Csou neve helyett is.) értekezik a fajok olyan transzformatív erejéről, mely képessé teszi őket a környezethez való alkalmazkodásra.

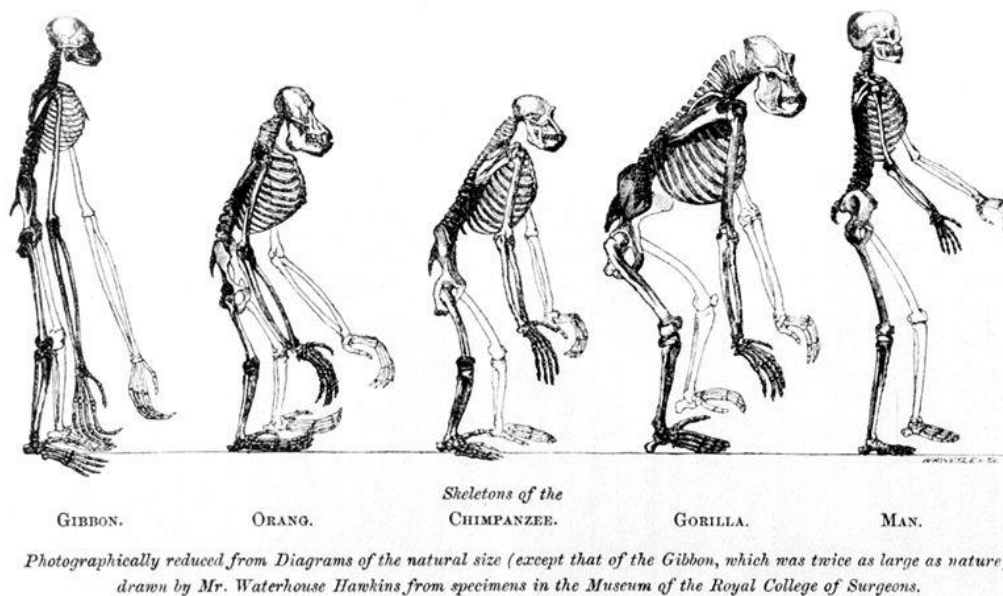
A XVIII. században a biológiai tudás gyarapodásával több hasonló elmélet látott napvilágot. Ezen elméletek kidolgozói közé tartozott Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698–1759) francia fizikus, matematikus, filozófus, és Erasmus Darwin (1731–1802) angol orvos természetes filozófus , fiziológus, feltaláló és költő.

Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) francia lovag, természettudós, akadémikus, a „Système des animaux sans vertèbres” (1809) könyvében elsőként hívta fel a figyelmünket arra a tényre, hogy Földünk valamennyi élőlénye régebben élt, egészen másféle formák leszármazottja. Az ember őseit majomszerű lényekben vélte megtalálni, csakhogy ez nyílt kihívást jelentett az uralkodó korszellemmel szemben.



Jean Baptiste Lamarck,
Az állatok törzsfája
„Philosophie zoologique” (1809)

Edward Hitchcock (1793–1864) geológus
Őslénytani diagram
„Elementary Geology” (1840)

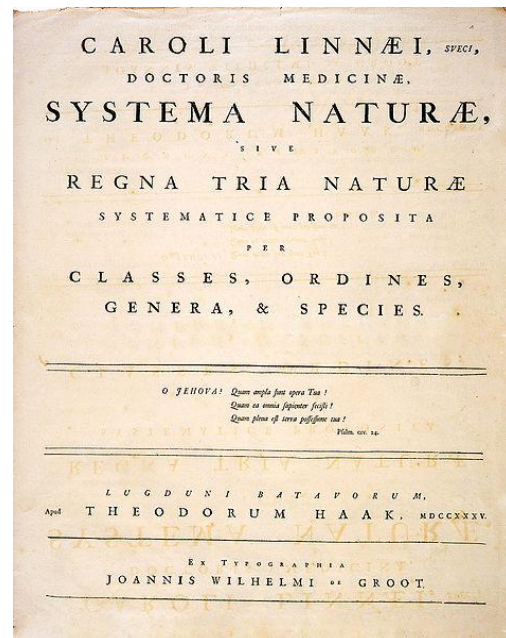


Thomas Henry Huxley (1825-1895) angol biológus, az „Evidence as to Man’s place in Nature” 1863 (Az ember helye a természetben) című művében már bizonyítékokat sorol fel arra, hogy az ember a főemlősök rendjének a tagja. Az ember természetben elfoglalt helyét a „kérdések kérdésének” nevezte.

A természettudományok fejlődésében fontos állomás a XVIII. században élt Carl von Linné (1707-1778) svéd természettudós, orvos és botanikus, munkássága. Sikerült neki az akkor ismert élőlények sokaságát áttekinthetővé tenni úgy, hogy azokat külső jellegeik szerint csoportokba foglalta, és e csoportokból felépítette az élőlények mesterséges rendszerét.

Fő műve a „Systema naturae” (A természet rendszere), amelynek első kiadása 1735-ben jelent meg; ez a munka a következő száz évre alapjaiban határozta meg az egész biológia számára, hogyan is kell gondolkodni, és milyen módszereket kell alkalmazni a kutatómunka során.

Az egyház jóváhagyta Linné megállapításait, mivel azok megerősítették magának az egyháznak a tanítását is.



Ezt a legjobban talán a művéből kiragadott következő két tétele bizonyítja: „Annyi faj van, ahány egyedet Isten a kezdet kezdetén teremtett.”, és: „A fajok változatlanok.” Később azonban Linné maga is módosította a fajok szigorú állandóságáról alkotott elképzelését.

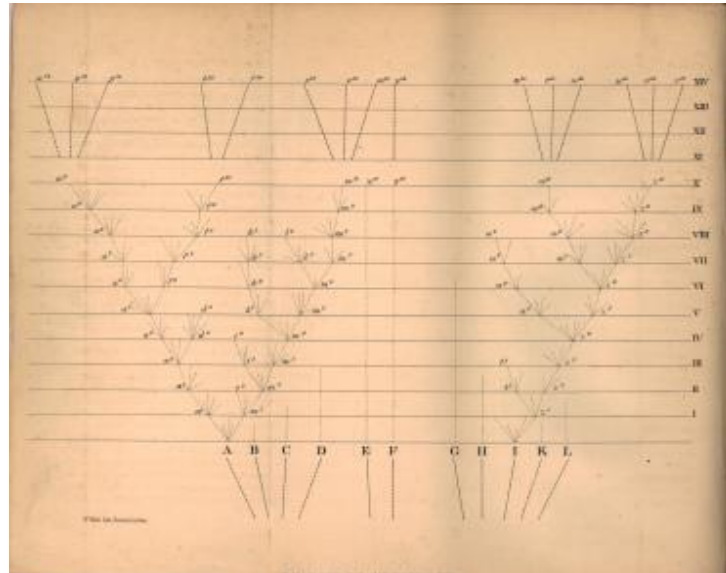
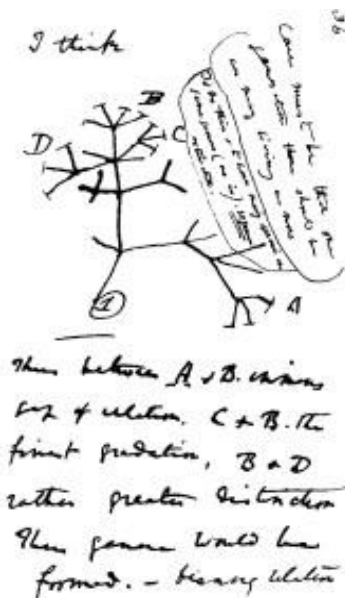
Ezt írta felül az evolúció elmélete, aminek nyomán felmerült az igény, hogy a rendszertannak tükröznie kellene a leszármazási vonalakat. Vagyis mondjuk két növény ne azért legyen rokon, mert mindkettőnek szőrös a levele, hanem azért, mert egy őstől származnak, akkor is, ha az egyiknek szőrös, a másiknak meg nem. Ez a filogenetikus rendszertan.

Csakhogy a filogenetikus rendszertanban előfordult, hogy egy közös ősnek nem az összes utóda került bele egy rendszertani csoportba, sőt néha olyan is előfordult, hogy egybevonták két ős leszármazottait egy csoportba.

Amikor egy csoportot (taxont) több ős leszármazottai alkotnak, azt polifiletikus csoportnak nevezzük. Amikor nincs benne a taxonban minden leszármazott, az a parafiletikus taxon. A monofiletikus pedig az, amikor minden leszármazott (és maga az ő is) benne van, de nincs benne más (ez más néven klád). Azaz a filogenetikus taxonómia használ poli- és parafiletikus taxonokat is, a kladisztikus pedig csak monofiletikusakat, azaz kládokat.

1858-ban Charles Robert Darwin (1809-1882) és Alfred Russel Wallace (1823–1913) brit felfedező, geográfus, antropológus, és biológus. közösen mutatták be az evolúció természetes szelekción alapuló elméletét a londoni Linné Társaságnak két különálló dolgozattal („On the Tendency of Species to form Varieties; and on the Perpetuation of Varieties and Species by Natural Means of Selection”).

Ötven évvel Lamarck után Charles Darwin tett újra célzást az ember állati eredetére, nagy jelentőségű munkájában, Az „The Origin of Species” 1859 (A fajok eredete) című könyvében azonban nem merte ezt még teljes egyértelműséggel kijelenteni, mert nagyon jól tudta, hogy éles ellentétbe kerül nemcsak az egyház mitikus teremtés történetével, de kora tudományos felfogásával is. „Világosság derül az ember eredetére és történetére is” - írta könyve végén.



Az „evolúciós fa” 1837.

Charles Darwin első vázlat.

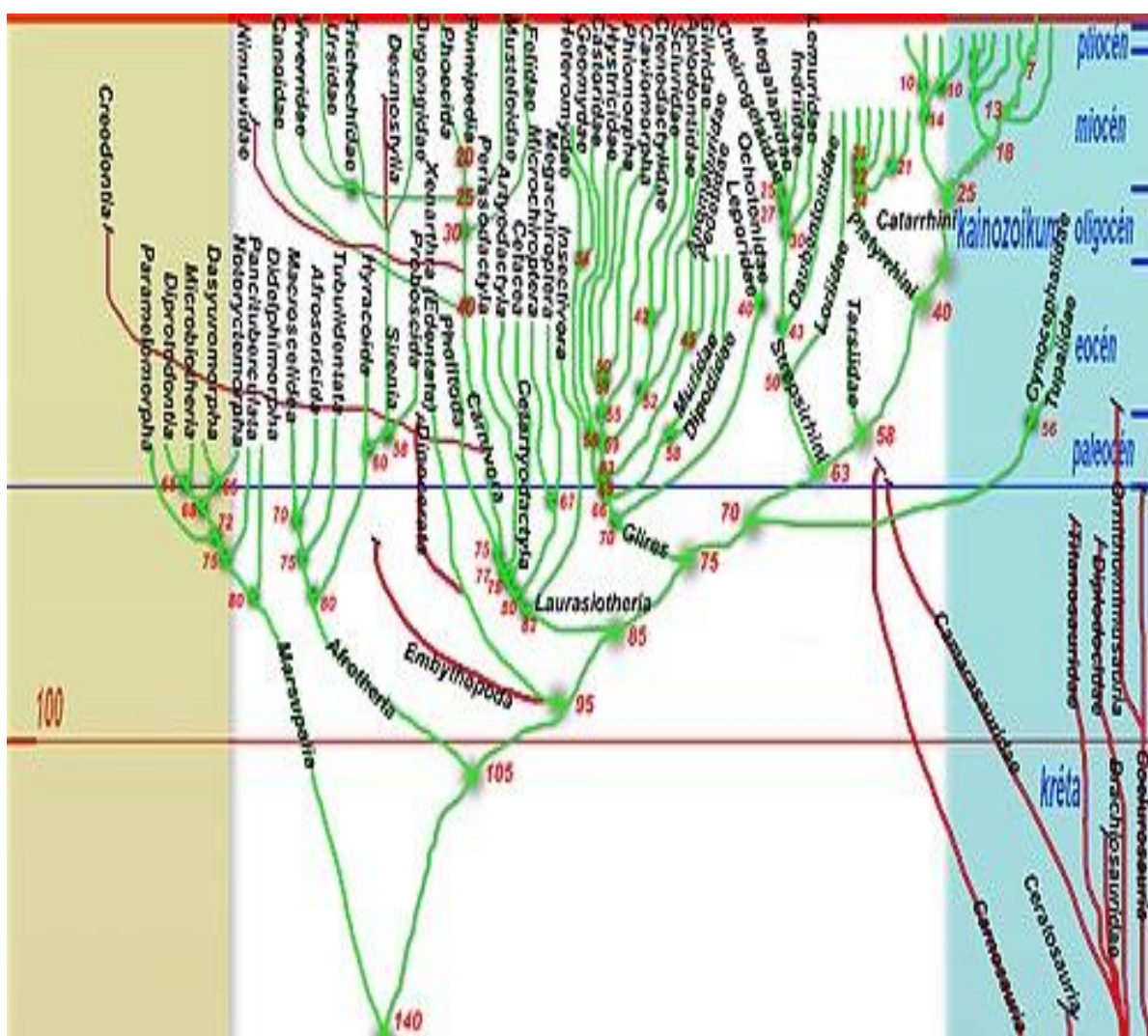
Charles Darwin, „The Origin of Species” 1859.

(A fajok eredete) könyvrészlet.

1871-ben jelent meg Darwin munkája „The descent of man, and selection in relation to sex” (Az ember származása és a nemi kiválasztás).

Darwin egyes gondolatai, mint a gradualizmus és a természetes szelekció erős viták tárgyát képezték. A Lamarck-i öröklődés elméletének képviselői amellet érveltek, hogy a fajok transzmutációjának alapja az élőlények életük során szerzett adaptációjuk továbbadása. Mikor ezen érveket kísérleti eredmények nem igazolták, az evolúció darwini elmélete vált elfogadottá. Darwin nem tudott számot adni a folyamatokról, melyek a jellegek öröklődéséért felelősek.

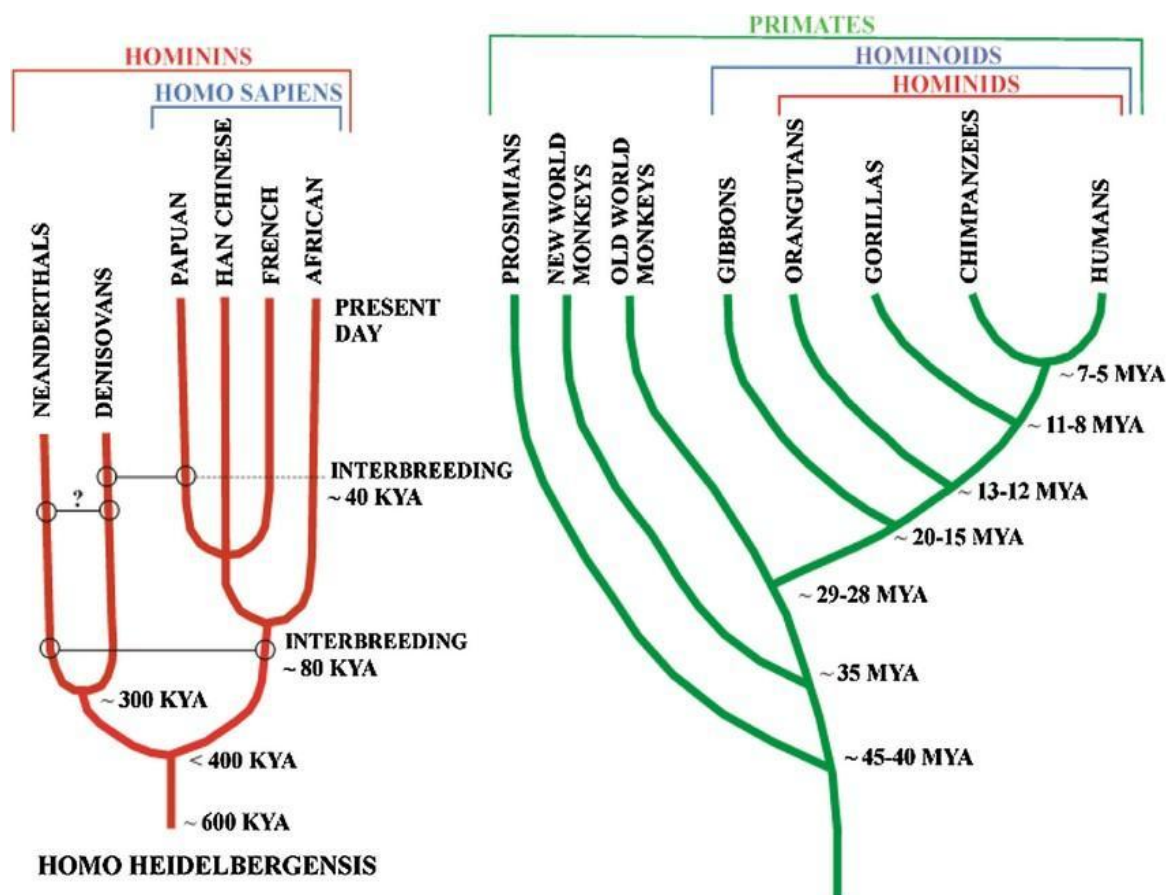
A filogenetikus rendszertan vagy fejlődéstörténeti rendszertan az élőlények rendszerezésének legelterjedtebb elméletévé vált a 20. században (a szó a görög *phylon* = törzs és *genesisz* = születés szavakból ered). A rendszerezés alapjának a törzsfajlás során kialakult rokonsági kapcsolatokat tekinti, a rendszerezést, osztályozást pedig az ezen kapcsolatokat kifejező filogenetikus családfa segítségével végzi. A filogenetika kifejezést újabban „genetikai vizsgálatokra épülő törzsfajlásban” értelemben is használják.



(forrás: www.wikiwand.com/hu/Kihalások_okai)

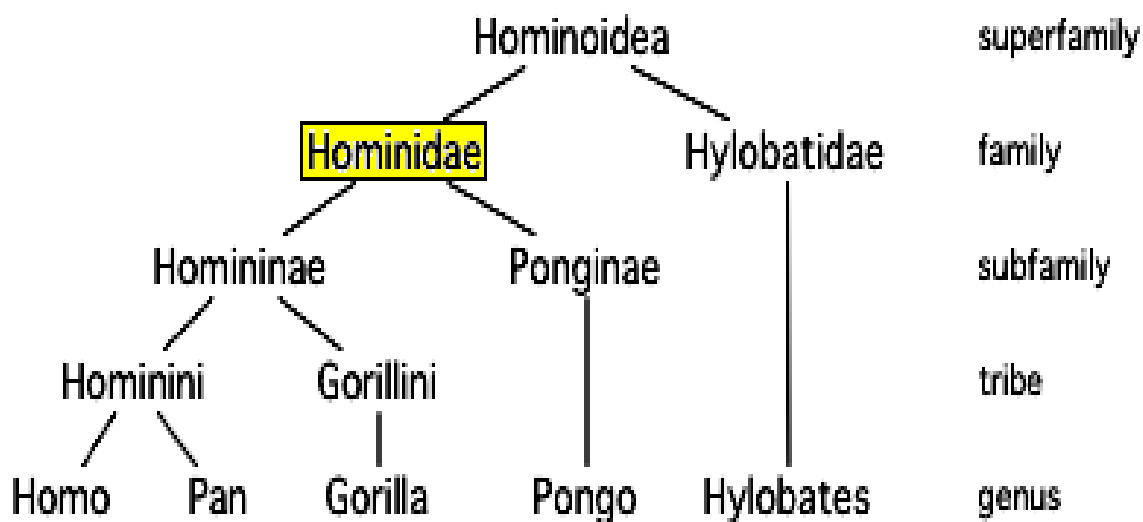
Emlősök törzsfája

Az emlősök fajszáma mindössze 4000. Az emberszabású majmokat mindössze három nemzetség képviseli: a orangutánok (*Pongo*), a gorillák (*Gorilla*) és a csimpánzok (*Pan*). Az ember pedig egyetlen nemzetségbe (*Homo*) tartozik. Valamennyi ma élő ember egy fajba, sőt ugyanabba az alfajba (*Homo sapiens sapiens*) tartozik.

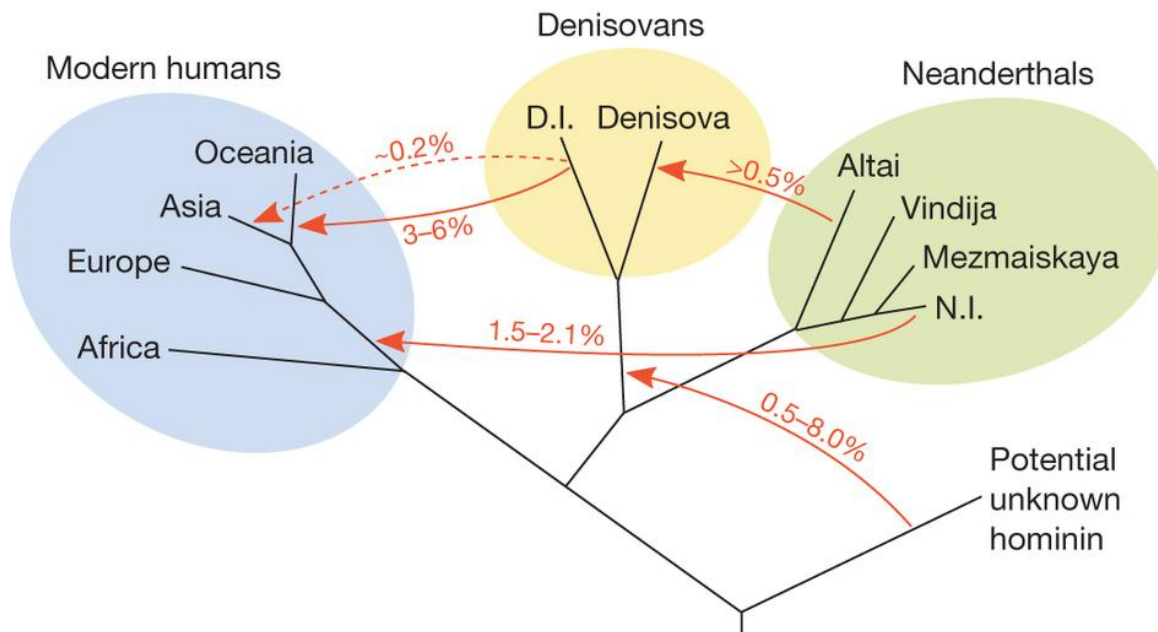


(forrás: www.researchgate.net/figure/Contemporary-view-of-human-and-primate-evolution-In-this-view-KYA-means-thousand-years_fig1_297895299)

Az emberi és a primás evolúció kortárs nézete. Ebben a nézetben a KYA „ezer évvel ezelőtt”, a MYA „millió évvel ezelőtt”.



(forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Emberfélék>)



(forrás: The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains, Kay Prüfer et al, Nature 505, 43–49 (02 January 2014), doi:10.1038/nature12886, <https://ktwop.com/tag/denisova-hominin/>)

Az élőlények rendszerében az ember minden kétséget kizáróan a főemlősökhöz tartozik. Az egyes főemlősöket sokkal szorosabb rokoni kötelék fűzi egymáshoz, mint az egyes főemlősfajokat más emlősállatokhoz. Összehasonlításunkban a biológiai rendszerezés tudományára, a taxonómiára támaszkodunk, amely amellet, hogy leírja az élőlényeket, alakjukat és a szervezetükben végbemenő életfolyamatokat össze is hasonlítja egymással, és az élőlényeket fejlődéstörténeti ismereteink alapján egységes rendszerbe foglalja.

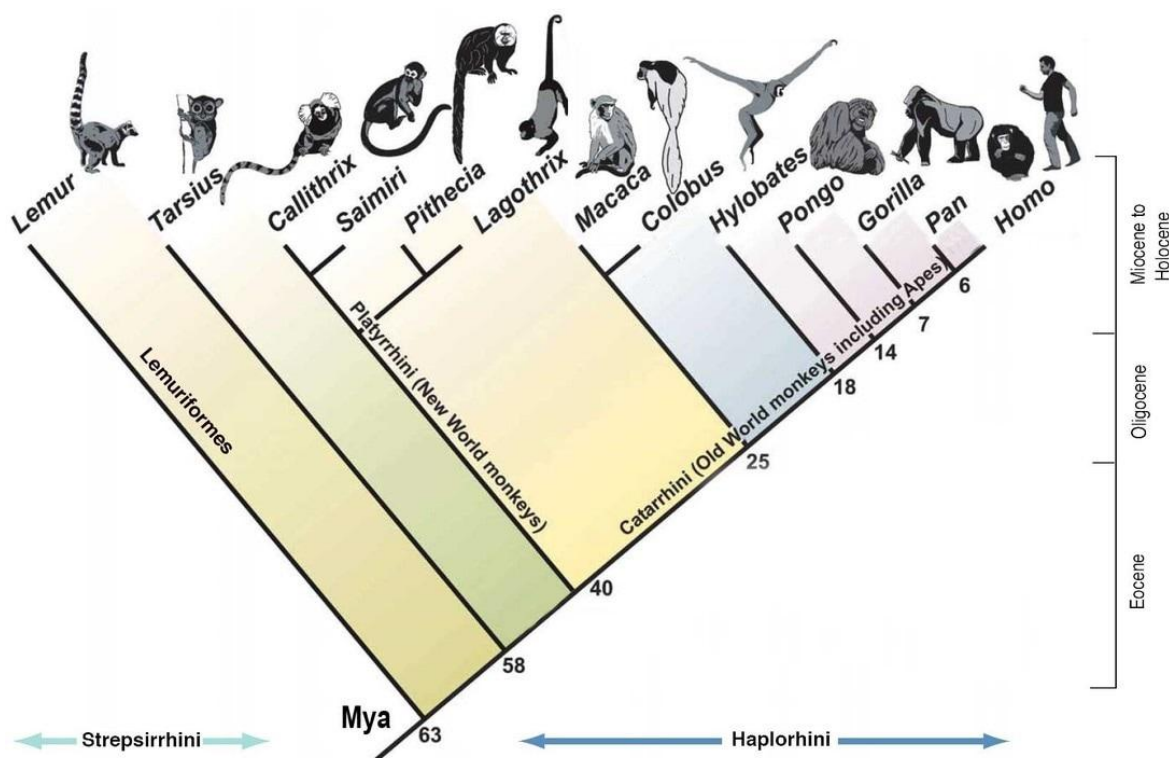
A főemlősök mint rokonsági csoport az emlősállatok osztályán belül rendet alkotnak, és így - rendszertani szempontból - a ragadozókkal, rágcsálókkal, patásokkal és más emlősrendekkel állnak egy szinten. A régebbi rendszerekben a főemlősöket a legmagasabb fokozatra állították, erre utal egyébként a még ma is érvényes tudományos elnevezésük, Primates (primus latinul első, elől álló).

Ma már más a rendszertan tudósainak az álláspontja. Törzsfjlődéstanilag (filogenetikailag) a főemlősök a rovarévők (Insectivora) közelében helyezkednek el, amelyek valamennyi magasabb rendű emlősállat őseit testesítik meg.

A páros ujjú patások, fogazatukat, egész emésztőszerv-rendszerüknek, valamint végtagjaiknak a felépítését illetően sokkal magasabb fejlődési szintet képviselnek, mint a főemlősök. Ennek ellenére az agyvelő specializáltsága az embernél érte el a fejlődés legmagasabb szintjét.

A főemlősök előre irányuló szemei térlátást tesznek lehetővé, mivel a látómezők „fedik” egymást. A meglehetősen kicsiny kiterjedésű szaglóközponttal ellentétben a látóközpont nagy területet foglal el agyvelejükben. Szemüket zárt, csontos gyűrű veszi körül. A legtöbb főemlősnek ötsugarú végtagjai vannak lapos körmökkel a kéz- és lábujjak utolsó ízén. Nem egy faj szembe is tudja állítani kezének vagy lábának a hüvelykujját a többi ujjával. Az ilyen végtagot fogókéznek vagy fogólábnak nevezzük. Fogazatukban metsző-, szem-, elő- és valódi zápfogak különülnek el egymástól. Ez utóbbiak rágófelülete több gumós.

Főemlősalakúak (Primates) rendje több mint 180 fajt tartalmazó rend. Méretük igen változatos, a legkisebb az egérmaki (60 g), a legnagyobb pedig a gorilla (170 kg). A fajok többsége a meleg, trópusi és szubtrópusi területek erdeinek lakója, de a Himalájában a barlangi makákó vagy a japán makákó extrém hideg területeken fordul elő. A rend az evolúció során korán kialakult, már a Kréta időszakban is éltek fajai, vagyis a dinoszauruszok kortársai voltak.



(forrás: <http://anthropologyis elemental.ua.edu/osteology.html>)

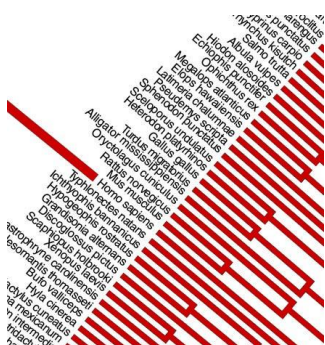
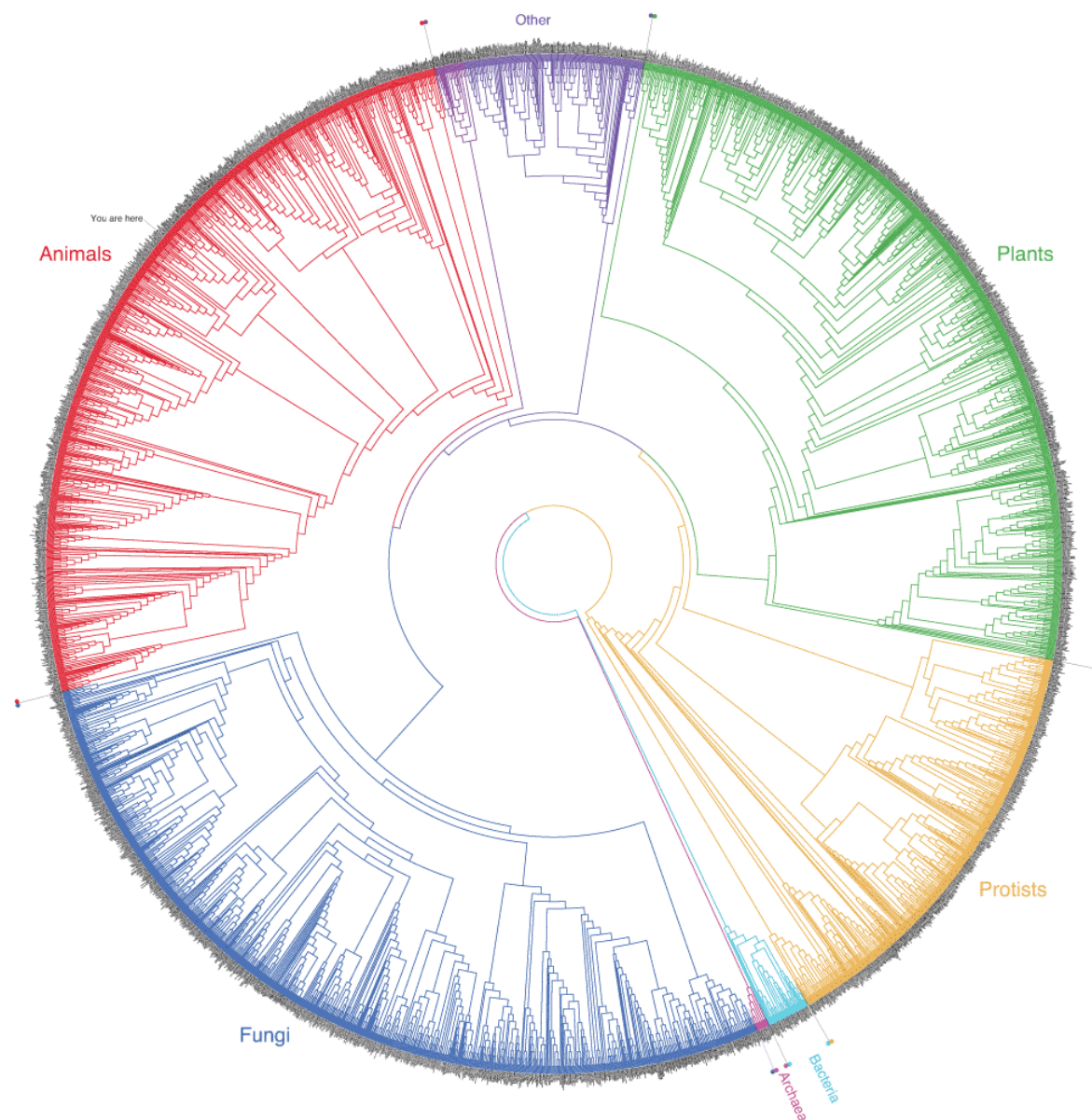
Ez a filogenetikus fa az élő főemlősök vonalát mutatja. Hat millió évvel ezelőtt elválasztottuk a csimpánzoktól.

A legújabb filogenetikus rendszerek a számítógépek nyújtotta lehetőségeket kihasználva megpróbálják egyesíteni a kladisztika és a numerikus taxonómia eredményeit.

David Mark Hillis (1958-) Dánia származású amerikai evolúciós biológus, a legismertebb tanulmányai a molekuláris evolúció, törzsfelődés, és gerinces rendszertan. Ő hozta létre az „Hillis Plot” evolúciós életfa ábrázolást.

The Tree of Life

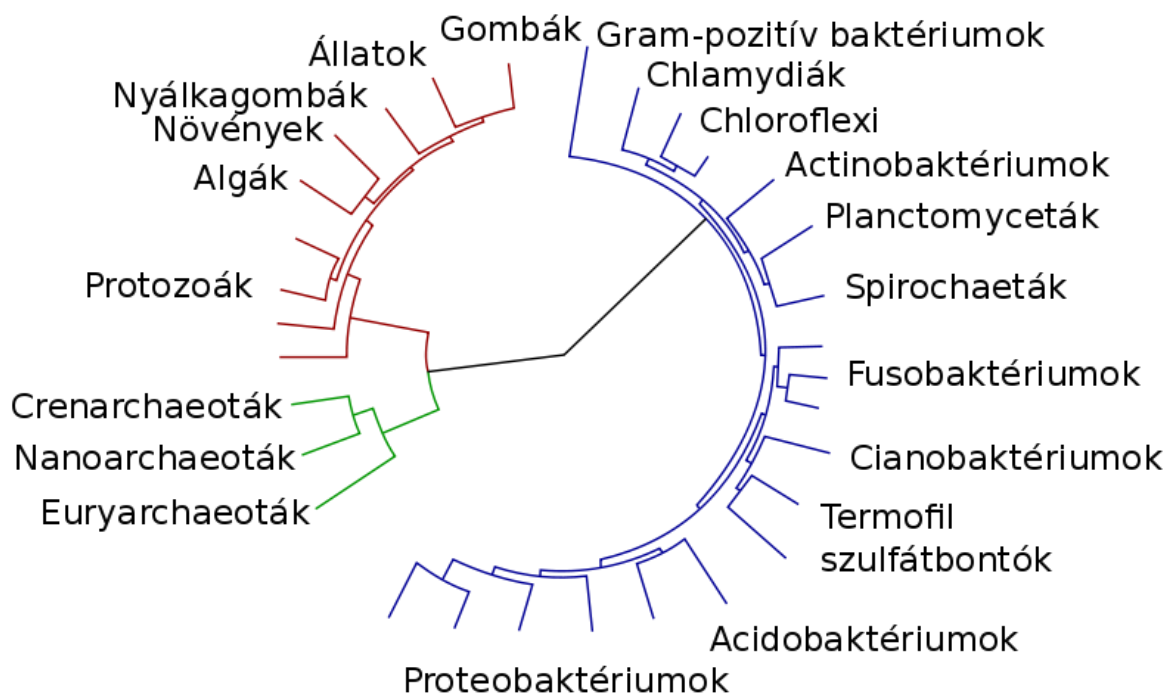
This tree was generated by David M. Hillis, Derrick Zwickl, and Robin Gutell (University of Texas) based on an analysis of small subunit rRNA sequences obtained from about 3,000 species from throughout the Tree of Life. When possible, sequences were chosen so that the number of species included in a major group is roughly proportional to the number of known species in that group. The total number of species included is approximately the square-root of the number of species thought to exist on Earth.



Hillis-diagramon a kör peremén lévő feliratok, 3000 megnevezés.

Az eredeti kép a forráshivatkozásban jelölt oldalon tekinthető meg korlátlan nagyításban.

<http://www.zo.utexas.edu/faculty/antisense/tree.pdf>



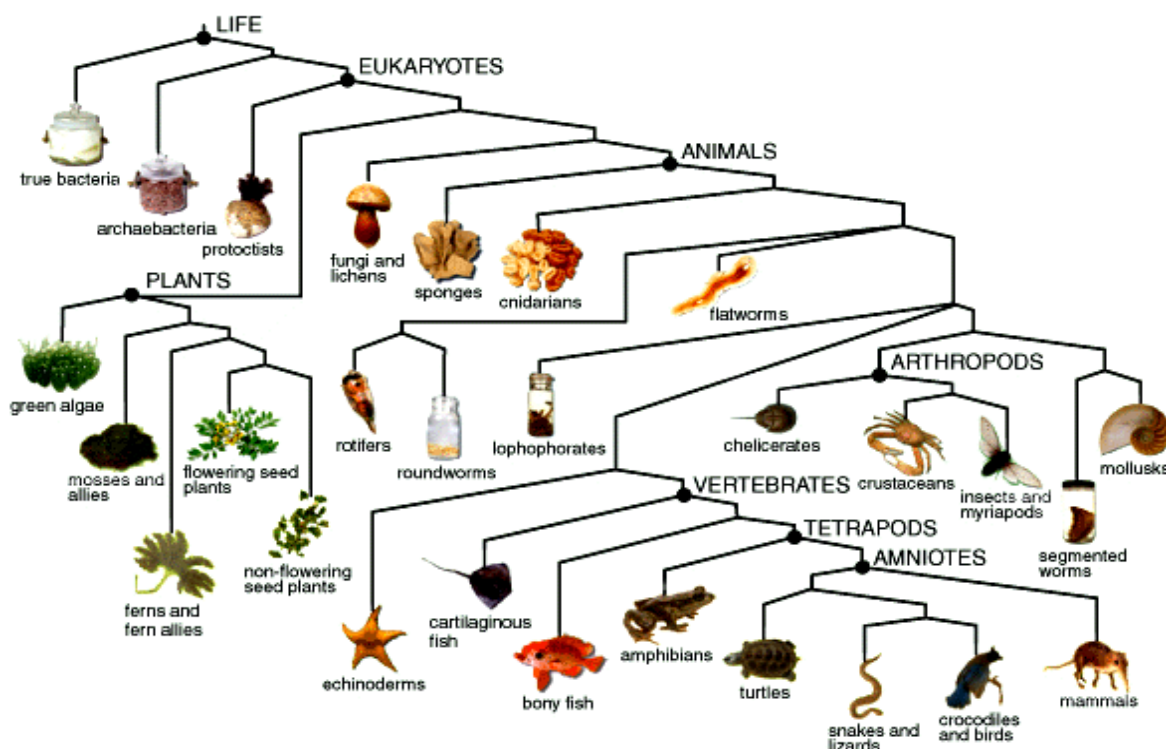
A képen egy filogenetikus családfa látható, mely a mai élőlények divergenciáját mutatja a közepén található közös őstől. A három domén különböző színnel van jelölve - kék: baktériumok, zöld: archeák, piros: eukarióták.

A Föld összes élőlénye egyetlen közös őstől vagy ősi génkészletből származik. A jelenlegi fajok mind az evolúció egy-egy ágának pillanatnyi állapotát képviselik, változatosságuk a fajképződések és kihalások hosszú sorozatának eredménye.

A mára kihalt fajok evolúciós története is visszakövethető a kőületekből és a ma élő élőlények összehasonlító anatómiai vizsgálatából. A modern és a kihalt fajok anatómiai jellemzőit összehasonlítva a paleontológusok következtetni tudnak a fajok leszármazási fájára. Ez a megközelítés azonban leginkább azon fajok esetében válik be, melyek szilárd testrészekkel - például páncél, csontok vagy fogak - is rendelkeztek.

A közös ős újabban a biokémiai hasonlóságok vizsgálata által nyert alátámasztást. Például minden élő sejt ugyanazon nukleinsavakat és aminosavakat használja. A molekuláris genetika újabb eredményei rávilágítottak, hogy az evolúció folyamata nyomot hagyott az élőlények genomjában. E mutációk által működtetett molekuláris óra alapján megállapítható a fajok szétválásának időpontja. Például az ember és a csimpánz DNS-ének összehasonlítása felfedte a két faj közti genetikai hasonlóságot, továbbá betekintést nyújtott abba, hogy e két faj közös őse mikor létezett.

A kladisztika a filogenetikus rendszertan modern módszertana, a (csoportosítás, kládokba történő besorolás –karakterek elemzése alapján). A biológiai rendszertanban a leszármazási mintázatokat feltáró módszertan alapjait Emil Hans Willi Hennig (1913-1976) német entomológus fektette le az 1950-es években. A módszert filogenetikus szisztematikának nevezte. A modern, de vitatott a kladisztikus rendszerezési elv szerint minden ma élő csoport kategóriaszintjét keletkezésének, elkülönülésének időpontja szabja meg. Minél korábban jelent meg egy csoport a földtörténet színpadán, annál magasabb kategóriába tartozik. A prekambriumtól vagy a kambriumtól máig élő szervezetek a törzsszintbe tartoznak, az újpaleozoikumtól (devon, karbon) élők osztályokat, a perm-től és triász-tól élők rendeket, a krétaidőszaktól élő állatcsoportok családokat alkotnak. Minden kategóriába csak szigorúan egy közös őstől származó, holofiletikus egységek tartoznak. A kladisztikus rendszerezők feltételezése szerint új fajok csak úgy keletkezhetnek, hogy a korábban élő faj két ikerfajra bomlik. Ez a kladogenezis. A kladogenezissel egy időben az eredeti faj megsemmisül. Az újonnan keletkezett fajok közül az egyik több ősi (plesiomorf) bélyeget őriz meg, mint a másik, fejlettebb bélyegekkel rendelkező (apomorf) faj. A szinapomorf csoportok minden egyes tagja magán hordja a közös őstől származás bizonyítékát, az új bélyeget. A rendszerező feladata elkülöníteni az ősi és a levezetett bélyegeket, és ennek alapján kijelölni a csoport rendszertani helyét.



A kladisztikus elemzés eredménye a kladogram (közös tulajdonságok ábrázolása hierarchikus rendszerben – akkor filogenetika, ha egyben a közös őt kapcsolatokat is tükrözi): a mai állatvilág beható tanulmányozásából leszármazási elágazási séma.

A kladisztikus rendszertan szerint csak a létező állatok osztályozhatók, és az új fossziliák felfedezése nem befolyásolja a rendszert.

Ez bizonyos mértékben ellentmond az eredeti felfogásnak, amely szerint az egység kategóriaszintjét a kladogenezis időpontja határozza meg. Ha a fejlődés egyenletes, egyirányú folyamat lenne, a ma élő állatok között levő eltérések fokából következtethetnénk elkülönülésük sorrendjére. E szerint a kevesebb közös bélyegű csoportok korábban különültek el egymástól, mint a több közös bélyegűek. Valójában azonban az evolúció nem egyenletes és sok irányú folyamat. A kladogenezisek nem szabályos időközökben követik egymást. Nem bizonyított, hogy a kladogenezis szükségképpen együtt jár az eredeti faj eltűnésével. Nem állítható az sem, hogy a fajok mindig párosával jönnek létre. A kladogram csak dichotomikus elágazást ismer el.

A genetikusok megfigyelése szerint azonban egy fajnak kettőnél több alfaja is lehet, amelyből elszigetelődés útján új faj keletkezhet.

A kladisztikus osztályozás hívei szerint a közös ősi bélyegek a rendszerezés szempontjából lényegtelenek. Csak a fejlett apomorf bélyegek a lényegesek. Ebből az a meglepő következtetés adódik, hogy a bojtosúszós hal (Latimeria) közelebb áll a tehénhez mint a pontyhoz. Hiszen a bojtosúszósnak belső orrnyílása van, tehát Choanata, akárcsak az emlős, a halaknak viszont nincsen choanájuk. Ennek ellenére formális-logikai szempontból a módszer egyértelmű és könnyen áttekinthető. Maga a kladisztikus elemzés pedig fontos része lehet a filogenetikus rendszerezésnek.

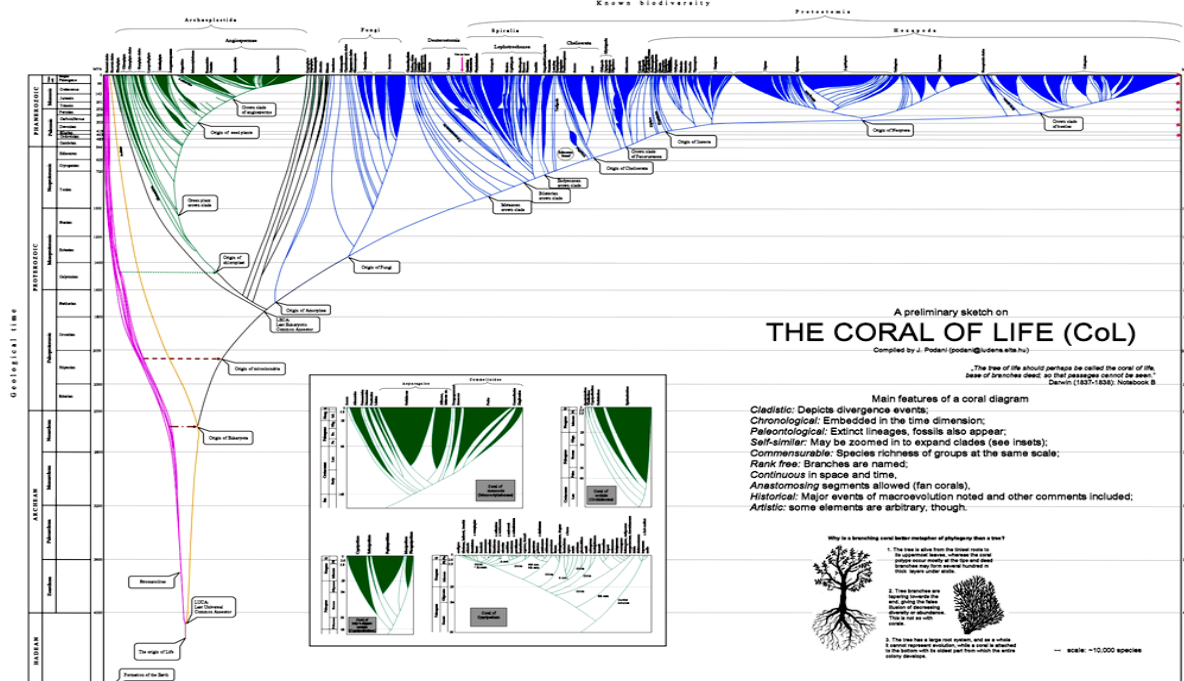
A jelenleg legelterjedtebb filogenetikai osztályozási mód a tényleges rokonsági kapcsolatok kifejezésére törekszik, egyaránt figyelembe véve a zoológiai és a paleontológiai ismereteket. A filogenetikai rendszerező figyelembe veszi a tipologikus, a numerikus és a kladisztikus elemzések eredményeit, de a spekulatív elemeknél többre tartja a materiális tartalmat. A rendszertani egységek közös őst nem adott fajra szűkíti le, hanem az alacsonyabb kategóriába tartozó csoportra.

Az emlősök osztálya az alsóhalántéklakú (Synapsida) hüllők Therapsida rendjéből alakult ki. Az emlősök tehát „közös őstől” származó monofiletikus egységet alkotnak, anélkül, hogy közös fajról és holofilogenezisről beszéljünk.

Kétségtelen, hogy a filogenetikai osztályozás szintetizáló jellegénél fogva nem annyira „tisztá”, mint az axiómaszerű kladisztikus módszer, információtartalma viszont sokkal nagyobb.

Az egykori és a meglévő szervezetek rendszerezésének elvévei és módszereivel a taxonómia foglalkozik. Maga a rendszertan (szisztematika) különböző fokú rendszertani egységeket, kategóriákat különít el, hierarchikus rendben. Ebbe tartoznak az egyes csoportok, a taxonok. Egy-egy kategóriába általában több taxon tartozik. A kategória elvont fogalom, a taxon viszont bizonyos értelemben „objektív”, mivel a korszerű rendszerezési elvek szerint minden taxon önálló evolúciós egység. (Géczy Barnabás: Óslénytan)

A korall típusú ábrázolásmód jóval inkább alkalmas az a tudás bemutatására, amivel a földi élet történetéről rendelkezünk, írta a Magyar Tudományban 2010-ben publikált tanulmányban Podani János (ELTE Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék, egyetemi tanár MTA-ELTE-MTM Ökológiai Kutatócsoport, csoportvezető).



(forrás: https://mta.hu/tudomany_hirei/az-elet-korallja-podani-janos-evolutionary-biology-rendszertan-filogenetika-109817,

Az ábra nagyobb felbontásban letölthető az Evolutionary Biology oldaláról. CC BY 4.0 Podani János, https://media.springernature.com/original/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs11692-019-09474-w/MediaObjects/11692_2019_9474_Fig3_HTML.png)

Podani János biológus, az MTA rendes tagja szerint van tudományosan pontosabb megoldás, amely többek között kiküszöböli a nem evolúciós szemléletű osztályozási rendszert, és érzékelteti a fajgazdagságot is. Az új típusú ábrázolás elágazási mintázata megegyezik egy fáéval, azonban a szögpontokat és az éleket síkidomok váltják fel. A korall egyébként mint metafora is alkalmasabb a fánál az evolúció bemutatására, mert az előbbi egy kis méretű telepből növekszik függőleges irányban felfelé, majd később ágazik el. Ezzel szemben a magról fejlődő fa két irányba (gyökérzet, korona) nő, s a gyökérzet ugyanolyan komplex struktúra, mint a korona. Továbbá a fa ágainak átmérője fokozatosan csökken, míg a korall felső részei akár vastagabbak is lehetnek, mint az alsók, így jobban szimbolizálják a fajgazdagság ingadozásait. A fák ágai sosem egyesülnek, míg a korallágak újra összeolvadhatnak (anasztomózisok). Tehát a korall segítségével a horizontális evolúciós események is bemutatathatók – derül ki a tanulmányból.

Szakirodalom:

72255 Aphanitic Impact Melt Breccia, Lunar and Planetary Institute, Lunar Sample 72255 Compendium, curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/72255.pdf

A. C. Allwood, J. P. Grotzinger, A. H. Knoll, I. W. Burch, M. S. Anderson, M. L. Coleman, and I. Kanik 2009.; Controls on development and diversity of Early Archean stromatolites; PNAS 106, 9548-9555

A. Steele, F. M. McCubbin, M. Fries, M. Glamoclija, L. Kater, H. Nekvasil: Graphite in an Apollo 17 Impact Melt Breccia, Science, 2010:julius 2., Vol. 329 no. 5987 p. 51, DOI: 10.1126/science.1190541

Aaron S. Burton, Jamie E. Elsila, Jason E. Hein, Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin: Extraterrestrial amino acids identified in metal-rich CH and CB carbonaceous chondrites from Antarctica, Meteoritics & Planetary Science 1–13 (2013), doi: 10.1111/maps.12063, és http://www.researchgate.net/publication/235736699_Extraterrestrial_amino_acids_identified_in_metal-rich_CH_and_CB_carbonaceous_chondrites_from_Antarctica/file/9fcfd512fd0d4e4d6d.pdf

Aaron S. Burton, Jennifer C. Stern, Jamie E. Elsila, Daniel P. Glavinb, Jason P. Dworkinb: Understanding prebiotic chemistry through the analysis of extraterrestrial amino acids and nucleobases in meteorites, Chem. Soc. Rev., 2012,41, 5459-5472, DOI: 10.1039/C2CS35109A, <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/cs/c2cs35109a>, és <http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/BurtonReview2012.pdf>

Adam A. Garde, Iain McDonald, Brendan Dyck, Nynke Keulen: Searching for giant, ancient impact structures on Earth: The Mesoarchaeon Maniitsoq structure, West Greenland. – Earth Planet. Sci. Let., vol. 337-338, 197-210.

Alexander A. Nemchin, Martin J. Whitehouse, Martina Menneken, Thorsten Geisler, Robert T. Pidgeon, Simon A. Wilde: A light carbon reservoir recorded in zircon-hosted diamond from the Jack Hills, Nature 2008. július 03., 454, 92-95, doi:10.1038/nature07102

Antal Embey-Isztin: „Basaltic volcanism on the terrestrial planets: a window to planetary interiors” Bazalt vulkanizmus a föld-típusú bolygókon:

betekintés az égitestek belsejébe, ACTA GGM DEBRECINA Geology, Geomorphology, Physical Geography Series Debrecen Vol. 2, 53–57 2007)

Asphaug et al., 2006. Nature, v. 439, p. 155-160

Bérczi Sz. (2001): Kis Atlasz a Naprendszeréről (1): Planetáris és anyagtérképek holdközetekekről, meteoritekről. UNICONSTANT. Püspökladány (ISBN 963-00-6314-XÖ, 963 00 6315 8)

Bérczi Sz. (2001): Kis Atlasz a Naprendszeréről (1): Planetáris és anyagtérképek holdközetekekről, meteoritokról. UNICONSTANT. Püspökladány (ISBN 963-00-6314-XÖ, 963 00 6315 8)

Bérczi Sz., Guicsik A., Hargitai H., Józsa S., Kereszturi Á., Nagy Sz., Szakmány Gy. (szerk.: Bérczi Sz.) (2008): Kis atlasz a Naprendszeréről (11): Közetszövetek a Naprendszerben. ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest (ISBN 978-963-284-034-5)

Bérczi Sz., Maros G., Szabó Sóni L., Varga T.: „A naprendszer anyagai” (2001) videofilm anyagából, ELTE TTK, Általános Fizika Tanszék, Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport

Bérczi Szaniszló a Naprendszer anyagairól készült ábragyűjtemény
hu.wikipedia.org/wiki/Kondritok

Bérczi Szaniszló Naprendszer-anyagokról készült rajz és ábragyűjteménye,
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Kondritok>

Bérczi Szaniszló, Guicsik Arnold, Hargitai Henrik, Horvai Ferenc, Illés Erzsébet, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs János: A Naprendszer kisenciklopédiája – A Naprendszer formakincse: Becsapódások folyamata, nyomai és hatásai. ELTE TTK – MTA Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, 2005.

Bérczi Szaniszló, Guicsik Arnold, Hargitai Henrik, Józsa Sándor, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs, Szakmány György: Kis Atlasz A Naprendszeréről (11), Közetszövetek a naprendszerben, ELTE TTK/MTA Geonómia Bizottság Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest _ 2008, planetologia.elte.hu/atlasz/atlasz11.pdf

Bérczi Szaniszló, Guicsik Arnold, Hargitai Henrik, Józsa Sándor, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs, Szakmány György (szerk. Bérczi Szaniszló) (2008): Kis atlasz a Naprendszeréről (11): Közetszövetek a Naprendszerben. ELTE TTK

Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest (ISBN 978-963-284-034-5)

Bérczi Szaniszló: Égitestfejlődések a Naprendszerben: Kisbolygó, Hold, Mars, Föld., ELTE TTK, Általános Fizika Tanszék,
<http://planetologia.elte.hu/1cikkek.phtml?cim=egitestfejlodesek-1.html>

Bérczi Szaniszló: *Kristályoktól Bolygótestekig.* (210 old.) Budapest Akadémiai Kiadó, (1991)

Bérczi Szaniszló: *Planetológia.* Egyetemi jegyzet, J3-1154. Budapest Tankönyvkiadó, (1978):

Bishop Klobuczeky and Curate-General Wolfgang Kukuljevic & the Hraschina meteorite, Naturhistorisches Museum Wien, <http://www.nhm-wien.ac.at/en?null>

Brooks, J., Shaw, G. (1973): *Origin and development of living systems.* Academic Press, London, New York (Magyar kiadása: *Az élő rendszerek eredete és fejlődése.* Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1981)

C. M. Lisse, J. VanCleve, A. C. Adams, M. F. A'Hearn, Y. R. Fernández, T. L. Farnham, L. Armus, C. J. Grillmair, J. Ingalls, M. J. S. Belton, O. Groussin, L. A. McFadden, K. J. Meech, P. H. Schultz, B. C. Clark, L. M. Feaga, J. M. Sunshine: Spitzer Spectral Observations of the Deep Impact Ejecta, *Science* 313, 635 (2006); DOI: 10.1126/science.1124694

C. Patuelli, R. Serra, S. Coniglione, M. Chiarini: Crystalline microstructures in Libyan Desert Glass: Effect of microgravity environment, *Microgravity and Space Station Utilization*, vol. 3, no. 4, 2002, www.b14643.de/Sahara/LDG/index.htm

Carroll, P., Drouin, B., Widicus Weaver, S.: „The Submillimeter Spectrum of Glycolaldehyde”. *Astrophysical Journal Letters*, 2010.723: 845–849. Bibcode:2010ApJ...723..845C. doi:10.1088/0004-637X/723/1/845, és <http://en.wikipedia.org/wiki/Glycolaldehyde>

Chandra Wickramasinghe Ph.D. Centre for Astrobiology, Cardiff University, UK: Microfossils in Meteors and Comet Dust: A Vindication of Panspermia, <http://journalofcosmology.com/Life101.html#5>

Chi Ma, Oliver Tschauner, John R. Beckett, George R. Rossman, Wenjun Liu: Panguite, (Ti⁴⁺,Sc,Al,Mg,Zr,Ca)_{1.8}O₃ a new ultra-refractory titania

mineral from the Allende meteorite: Synchrotron micro-diffraction and EBSD, *American Mineralogist*, Volume 97, pages 1219–1225, 2012., www.its.caltech.edu/~chima/publications/2012_AM_panguite.pdf

Cserny Tibor et al.: Általános földtan és gyakorlat. Kézirat. Sopron. 2006.

Dana Berry; orrás: Robin Canup, SWRI,
<http://ngm.nationalgeographic.com/2013/07/125-solar-system>

David Wacey, Matt R. Kilburn, Martin Saunders, John Cliff, Martin D. Brasier. Microfossils of sulphur-metabolizing cells in 3.4-billion-year-old rocks of Western Australia. *Nature Geoscience*, 2011; DOI: 10.1038/ngeo1238

Donald R. Lowe: „Stromatolites 3,400-Myr old from the Archean of Western Australia” *Nature* 284, 441-443, 1980. április 03.,

Dr. George Rossman California Institute of Technology's Geology and Planetary Sciences department, www.spitzer.caltech.edu/images/1471-ssc2005-18c-Ingredients-of-a-Comet

Dr. Harangi Szabolcs: Bevezetés a kőzettanba 2. Földtudományi BSc szak, ELTE FFI Kőzetan-Geokémiai Tanszék, ppt diaképek,
http://elte.pene.hu/e107_files/downloads/download.php?fname=./!foldtud/1.%20felev/bevezetes_az_asvany_es_kozettanba/kozettan/jelszo_nelkuli/Bevezetes_kozettanba_BSc_2.pdf.

Early feast clue to smell of ancient Earth, University of Oxford, OxWeb,
http://www.ox.ac.uk/media/news_stories/2013/130430.html
Early Organic Evolution 1992, pp 435-449, Stanley M. Awramik: The History and Significance of Stromatolites,

Earth's earliest non-marine eukaryotes, Paul K. Strother, Leila Battison, Martin D. Brasier & Charles H. Wellman. *Nature*, DOI 10.1038/nature09943

Elsó S. Barghoora , Stanley A. Tyier: Microorganisms from the Gunflin Cher, These structurally preserved Precambrian fossils from Ontario are most ancient organism know. *Science* 1965. 02. 05, Volume 147 Number 3659.)

Emmanuelle J. Javaux „Microfossils from early Earth” *Nature Geoscience* 4,663–665, 2011. doi:10.1038/ngeo1279, fotók: David Wacey, University of Western Australia

Fossilized Life Forms in the Murchison Meteorite, What's NEW since, 1997.július 29., és
 More Evidence for Indigenous Microfossils in Carbonaceous Meteorites
 What'sNEW since Aug 2010. www.panspermia.org/, hoover4.htm#whatsnew

Fossilized Life Forms in the Murchison Meteorite, What's NEW since, 1997.július 29.

Fossils of earliest complex land life found 14 April 2011, by Tom Marshall, Scientists have found fossils that could rewrite the history of life in the rocks of northwest Scotland.

<http://planetearth.nerc.ac.uk/news/story.aspx?id=963&cookieConsent=A>

Földtörténeti időskála, regmorrison.edublogs.org/files/2013/05/Evolution-timescale-2g32cnm.jpg, és
regmorrison.edublogs.org/files/2013/05/Evolution-timescale-1w2ws0w.pdf

Franck Marchis, Daniel Hestroffer, Pascal Descamps, Jérôme Berthier, Antonin H. Bouchez, Randall D. Campbell, Jason C. Y. Chin, Marcos A. van Dam, Scott K. Hartman, Erik M. Johansson, Robert E. Lafon, David Le Mignant, Imke de Pater, Paul J. Stomski, Doug M. Summers, Frédéric Vachier, Peter L. Wizinovich, Michael H. Wong: " *A low density of 0.8 g cm⁻³ for the Trojan binary asteroid 617 Patroclus*", in: Nature 439, 565-567 (02 02. 2006) doi:10.1038/nature04350, IMCCE-Observatoire de Paris, www.nature.com/nature/journal/v439/n7076/abs/nature04350.html, és astro.berkeley.edu/~fmarchis/Science/Asteroids/Patroclus/figTrojans.jpg, Lynette Cook, (W. M. Keck Observatory): Study of Patroclus and Menoetius A Double Trojan System, <http://astro.berkeley.edu/~fmarchis/Science/Asteroids/Patroclus/>

Fuchs, T., Huber, H., Teiner, K., Burggraf, S. & Stetter, K. O. (1995). *Metallosphaera prunae*, sp. nov., a novel metal-mobilizing, thermoacidophilic Archaeum, isolated from a uranium mine in Germany. Syst Appl Microbiol 18, 560–566.

G. Jeffrey Taylor and Linda M. V. Martel: Wee Rocky Droplets in Comet Dust, www.psrhawaii.edu/Dec08/PSRD-cometDust.pdf

G. Jeffrey Taylor and Linda M. V. Martel: Wee Rocky Droplets in Comet Dust, Planetary Science Research Discoveries, www.psrhawaii.edu/Dec08/cometDust.html, és www.psrhawaii.edu/Dec08/PSRD-cometDust.pdf

G. Jeffrey Taylor: Heating, Cooling, and Cratering: One Asteroid's Complicated Story, Planetary Science Research Discoveries, 2008. július 08., www.psrд.hawaii.edu/July08/H-chondrite-parent.html, és www.psrд.hawaii.edu/July08/PSRD-H-chondrite-parent.ppt

G. Jeffrey Taylor: Meteoritic Minerals Tell a Story of Multistage Cooling, Break-up, and Reassembly of an Asteroid, Planetary Science Research Discoveries, 2013. április 30. www.psrд.hawaii.edu/April13/PSRD-multistage-cooling.pdf, és www.psrд.hawaii.edu/April13/PSRD-multistage-cooling.ppt

Ganguly, J., Tirone, M., Chakraborty, S., and Domanik, K. (2013) H-Chondrite parent asteroid: A multistage cooling, fragmentation, and re-accretion history constrained by thermometric studies, diffusion kinetic modeling and geochronological data. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 105, p. 206-220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2012.11.024>. http://www.geo.arizona.edu/sites/www.geo.arizona.edu/files/pictures/H-Chondrites_13.pdf

GEOL212: Planetary Geology Fall 2013, www.geol.umd.edu/~jmerck/geol212/lectures/25.html

Geológiai időskála, Ray Troll's, greenforecast.com/what-is-the-geologic-time-scale/

Gergely P. – Vereb Gy.: Bioszervetlen kémia, KLTE–Debrecen 1991

Gertrud Huber, Carola Spinnler, Agata Gambacorta, Karl O. Stetter: *Metallosphaera sedula* gen. and sp. nov. Represents a New Genus of Aerobic, Metal-Mobilizing, Thermoacidophilic Archaeobacteria, *Systematic and Applied Microbiology*, 1989. április 18.

Gruiz Katalin: A környezeti mikrobiológia története, BME körINFO projekt

Guochun Zhao, Peter A. Cawood, Simon A. Wilde, Min Sun: „Review of global 2.1–1.8 Ga orogens: implications for a pre-Rodinia supercontinent” in: *Earth-Science Reviews* 2002. január, 59., 125–162, www.elsevier.com/locate/earscirev

Harald Furnes, Neil R. Banerjee, Karlis Muehlenbachs, Hubert Staudigel, and Maarten de Wit. 2004 (Apr 23). "Early Life Recorded in Archean Pillow Lavas." *Science* 304:578, 580f.

Helmut Mayr: *Kövület Biblia*, Köország Kiadó, 1994

Hoover, R. B. "Comets, Carbonaceous Meteorites and the Origin of the Biosphere" in *Biosphere Origin and Evolution* (N. Dobretsov, N. Kolchanov, A. Rozanov and G. Zavarzin, Eds.) Springer US, New York 55-68, (2008).
<http://www.springerlink.com/content/u173842732801741/>

Hoover, R. B. "Microfossils in Carbonaceous Meteorites" [abstract],
 doi:10.1117/12.832643, *SPIE* 7441, (2009).

Hoover, Richard B. *Meteorites, Microfossils and Exobiology. Instruments Methods and Missions for the Investigation of Extraterrestrial Microorganisms*, SPIE 3111, 115-136, 1997.

Hoover, Richard B. *Microfossils of cyanobacteria in carbonaceous meteorites*. Instruments, Methods and Missions for Astrobiology X, Proc. SPIE 6694, 669408, 2007.

How Pure Is the Comet? www.skyandtelescope.com/news/3491846.html

io9.com/5923648/why-did-all-the-planet-forming-dust-around-this-star-disappear-in-only-three-years

I.N. Bindeman, A.K. Schmitt, D.A.D. Evans: Limits of hydrosphere-lithosphere interaction: Origin of the lowest-known $\delta^{18}\text{O}$ silicate rock on Earth in the Paleoproterozoic Karelian rift, 2010 február 11., Geological Society of America, <http://geology.gsapubs.org/>

Inga Köhler, Kurt O Konhauser, Dominic Papineau, Andrey Bekker, Andreas Kappler: Biological carbon precursor to diagenetic siderite with spherical structures in iron formations, *Nature Communications* 4, Article number: 1741 doi:10.1038/ncomms2770
www.nature.com/ncomms/journal/v4/n4/fig_tab/ncomms2770_F1.html

Ivanova, M.A., et al.: „The first known occurrence of calcium monoaluminate, in a calcium aluminum-rich inclusion from the CH chondrite Northwest Africa 470”: *Meteoritics & Planetary Science* (2002) 37, 1337-1444

J. Kelly Beatty: *Comet Borrelly: Dry and Hot*, Sky & Telescope, 2003.
www.skyandtelescope.com/news/3305961.html?page=1&c=y,
 Laurence Soderblom, USGS és NASA/JPL

J. M. Sunshine, M. F. A'Hearn, O. Groussin, J.-Y. Li, M. J. S. Belton, W. A. Delamere, J. Kissel, K. P. Klaasen, L. A. McFadden, K. J. Meech, H. J. Melosh, P. H. Schultz, P. C. Thomas, J. Veverka, D. K. Yeomans, I. C. Busko, M. Desnoyer, T. L. Farnham, L. M. Feaga, D. L. Hampton, D. J. Lindler, C. M. Lisse, D. D. Wellnit: Exposed Water Ice Deposits on the Surface of Comet 9P/Tempel 1, *Science* 311, 1453 (2006); DOI: 10.1126/science.1123632, <http://planetary.brown.edu/pdfs/3779.pdf>

J. William Schopf „Fossil evidence of Archaean life” published *Phil. Trans. R. Soc. B* 2006 361, doi: 10.1098/rstb.2006.1834 29 June 2006

J. William Schopf and Bonnie M. Packer; Newly discovered early Archean (3.4–3.5 Ga Old) microorganisms from the Warrawoona Group of Western; *Origins of Life and Evolution of Biospheres*; Volume 16, Numbers 3-4 / September, 1986; Springer Netherlands; DOI 10.1007/BF02422059

J. William Schopf: „Disparate rates, differing fates: Tempo and mode of evolution changed from the Precambrian to the Phanerozoic” *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 91, pp. 6735-6742, July 1994., Colloquium Paper

Jan D. Kramersa, Marco A.G. Andreolib, Maria Atanasovad, Georgy A. Belyanina, David L. Blocke, Chris Franklynb, Chris Harrisf, Mpho Lekgoathib, Charles S. Montrossg, Tshepo Ntsoaneb, Vittoria Pisheddah, Patience Segonyaneb, K.S. (Fanus) Viljoena, Johan E. Westraadtg: Unique chemistry of a diamond-bearing pebble from the Libyan Desert Glass strewnfield, SW Egypt: Evidence for a shocked comet fragment, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 382, 15 November 2013, Pages 21–31, és www.b14643.de/Sahara/LDG_Hypatia/piece_large.jpg

Joe McCall: The „Tagish Lake meteorite” *Geoscientist* 2007. Április, 17.5

Junjun Zhang, Nicolas Dauphas, Andrew M. Davis, Ingo Leya, Alexei Fedkin: „The proto-Earth as a significant source of lunar material” *Nature Geoscience*, 2012 március 25., 5, 251–255 doi:10.1038/ngeo1429

JW Schopf - BM Packer: Early Archean (3.3-billion to 3.5-billion-year-old) microfossils from Warrawoona Group, Australia *Science* 3 July 1987: Vol. 237 no. 4810 pp. 70-73 DOI: 10.1126/science.11539686

Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, Vienna, <http://en.wikipedia.org/wiki/Hrascina>)

Kardos lászló: *Az emberiség kezdete*, Reflektor Kiadó, 1989.

Kereszturi Ákos: „Életet segítő meteorzárporok” 2007. 01. 04. 8:45
tudomany/vilagur/20070104eletet.html

Kereszturi, Ákos: A Kései Nagy Bombázási Időszak. Hírek.csillagászat.hu,
2005. szeptember 23. (Hozzáférés: 2009. május 2

Kereszturi, Ákos: Bombázták a belső Naprendszert. Világűr, 2009. március
26

Kereszturi, Ákos: Meteorzárporok fűthették az ősi Földet és a Marsot. Világűr,
2009. június 5.

Kleine, T., Touboul, M., Van Orman, J. A., Bourdon, B., Maden, C., Mezger,
K., and Halliday, A. N. (2008) Hf-W thermochronometry: Closure
temperature and constraints on the accretion and cooling history of the H
chondrite parent body, *Earth and Planetary Science Letters*,
doi:10.1016/j.epsl.2008.03.013.

Lars E. Borg, James N. Connelly, Maud Boyet, Richard W. Carlson
„Chronological evidence that the Moon is either young or did not have a
global magma ocean” *Nature*, 2011. szeptember 01. 477, 70–72
doi:10.1038/nature10328

Lewis, C. (2000): *The Dating Game*. Cambridge University Press, Cambridge

Linda M. V. Martel, Hawai‘i Institute of Geophysics and Planetology, Better
Know A Meteorite Collection: Natural History Museum in London, United
Kingdom, PSRD: Meteorite Collection in London, United Kingdom,
www.psrh.hawaii.edu/July09/Meteorites.London.Museum.html, és
www.psrh.hawaii.edu/July09/PSRD-Meteorites.London.Museum.pdf

Linda M. V. Martel, Hawai‘i Institute of Geophysics and Planetology, Better
Know A Meteorite Collection: Natural History Museum in London, United
Kingdom, PSRD: Meteorite Collection in London, United Kingdom,
www.psrh.hawaii.edu/July09/Meteorites.London.Museum.html, és
www.psrh.hawaii.edu/July09/PSRD-Meteorites.London.Museum.pdf

Linda M. V. Martel, Hawai‘i Institute of Geophysics and Planetology, Better
Know A Meteorite Collection: Natural History Museum in London, United
Kingdom, PSRD: Meteorite Collection in London, United Kingdom,

Linda Moulton Howe: Deep Impact Spectra, Carbonate, PATHs and Some
Amilo Precursors in Comet Tempel 1, 2005.,

bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_asteroids_comets_deepimpact14.htm, és Carey Michael Lisse, Ph.D., Prof. of Physics, University of Maryland, a Deep Impact Science Team, a kutatásvezető Chandra X-Ray és a Spitzer teleszkóp Deep Impact spektrométer eredmények.)

M. H. Engel, S. A. Macko: Isotopic evidence for extraterrestrial non- racemic amino acids in the Murchison meteorite, *Nature* 389, 265-268 (18 September 1997) | doi:10.1038/38460

M. R. Walter, R. Buick & J. S. R. Dunlop: „Stromatolites 3,400–3,500 Myr old from the North Pole area, Western Australia” *Nature* 284, 443-445, 1980. április 03.

Manavi Jadhav, Ernst Zinner, Sachiko Amari, Teruyuki Maruoka, Kuljeet K. Marhas, Roberto Gallino: Multi-element isotopic analyses of presolar graphite grains from Orgueil, www.elsevier.com/locate/gca, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 113 (2013) 193–224, és presolar.wustl.edu/Laboratory_for_Space_Sciences/Publications_2013_files/jadhavetal2013.pdf, és arxiv.org/abs/1310.2679

Manavi Jadhav, Ernst Zinner, Sachiko Amari, Teruyuki Maruoka, Kuljeet K. Marhas, Roberto Gallino: Multi-element isotopic analyses of presolar graphite grains from Orgueil, www.elsevier.com/locate/gca, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 113 (2013) 193–224,

Manavi Jadhav, Marco Pignatari, Falk Herwig, Ernst Zinner, Roberto Gallino, Gary R. Huss: Relics of ancient post-AGB stars in a primitive meteorite, *Astrophysical Journal Letters* 2013. október 23., <http://arxiv.org/abs/1310.2679>

Manfred Kutscher, Uwe-M. Troppenz: Ein Schlangensterne-Abdruck (Ophiuroidea) in einem ?Danium-Feuerstein-Geschiebe Impression of a brittle star (Ophiuroidea) in a ?Danian-Flintstone-Geschiebe

Maria Khomyakova, Özlem Bükmez, Lorenz K. Thomas, Tobias J. Erb, Ivan A. Berg (Mikrobiologie, Fakultät Biologie, Universität Freiburg, Schänzlestrasse 1, D-79104 Freiburg, Germany). A Methylaspartate Cycle in Haloarchaea, *Science*, 21 January 2011: Vol.331 no.6015 pp.334-337, DOI:10.1126/science.1196544

Mark van Zuilen: Traces of Early Life – A Geochemist’s View
<http://www.exobiologie.fr/index.php/vulgarisation/geologie-vulgarisation/traces-of-early-life-a-geochemists-view/>

Markó László: Miért „balkezesek” a fehérjéket felépítő aminosavak? A biomolekulák homokiralitásának eredete, Földön kívüli eredet,
<http://www.termeszettvilaga.hu/tv99/tv9902/marko2.html>, és
Természet Világa, 130. évf. 2. sz. 1999. február, 54–59. o.,
www.kfki.hu/chemonet/TermVil/, és www.ch.bme.hu/chemonet/TermVil/

Martina Menneken, Alexander A. Nemchin, Thorsten Geisler, Robert T. Pidgeon, Simon A. Wilde: Hadean diamonds in zircon from Jack Hills, Western Australia, *Nature* 2007. augusztus 23., 448, 917-920
doi:10.1038/nature06083

Matthew Z. DeMaere, Timothy J. Williams, Michelle A. Allen, Mark V. Brown, John A. E. Gibson, John Rich, Federico M. Lauro, Michael Dyall-Smith, Karen W. Davenport, Tanja Woyke, Nikos C. Kyrpides, Susannah G. Tringe, Ricardo Cavicchioli: High level of intergenera gene exchange shapes the evolution of haloarchaea in an isolated Antarctic lake, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013. szeptember 30.,
doi: 10.1073/pnas.1307090110

Meglepő eredmény az üstökösök anyagának eredetéről,
www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-a-naprendszer-keletkezese-es-fejlodese/meglepo-eredmeny-az-ustokosok-anyaganak-eredeterol/

Mennyire tiszta egy üstökös? www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-a-naprendszer-keletkezese-es-fejlodese/mennyire-tiszta-egy-ustokos/

Michael L. Sitko, Carey M. Lisse, Michael S. Kelley, Elisha F. Polomski, David K. Lynch, Ray W. Russell, Robin L. Kimes, Barbara A. Whitney, Michael J. Wolff, and David E. Harker: Infrared spectroscopy of comet 73p/schwassmann-wachmann 3 using the spitzer space telescope, *The Astronomical Journal*, 2011., Volume 142, Number 3, 142 80,
doi:10.1088/0004-6256/142/3/80, <http://iopscience.iop.org/1538-3881/142/3/80/article>, és
iopscience.iop.org/1538-3881/142/3/80/pdf/1538-3881_142_3_80.pdf

Michael Marshall: New Scientist magazine, 2011. május 07., Issue number 2811., és Origins of Life and Evolution of Biospheres, DOI: 10.1007/s11084-011-9239-0

Michael Marshall: New Scientist magazine, 2011. május 07., Issue number 2811. és (Origins of Life and Evolution of Biospheres, DOI: 10.1007/s11084-011-9239-0

Michel Faure, Jean-François Bardeau, Jean-Noël Rouzaud, Emmanuelle Javaux, Elisabeth Verges, Frances Westall: These Presentee a l'Universite d'Orleans Pour obtenir le grade de Docteur de l'Universite d'Orleans, Discipline: Paleontologie Par Philippe Labrot, Microscopie a force atomique de microfossiles precambriens, Soutenue le 30 novembre 2006.

Mihai Andrei: Shorties: Stunning pictures of Fukang Pallasite, <http://www.zmescience.com/other/great-pics/shorties-pictures-of-fukang-pallasite/>)

Mitch Jacoby: A Comet's Chemical Composition, Space-based IR telescope reveals assortment of substances in Tempel 1, Space Science 2006. július 17, Volume 84, Number 29. p. 7, és Chemical & Engineering News, pubs.acs.org/cen/news/84/i29/8429notw1.html

Mitch Jacoby: A Comet's Chemical Composition, Space-based IR telescope reveals assortment of substances in Tempel 1 Space Science, July 17, 2006 Volume 84, Number 29. p. 7, és Chemical & Engineering News, pubs.acs.org/cen/news/84/i29/8429notw1.html

N. Dello Russo, R. J. Vervack Jr, C. M. Lisse, H. A. Weaver, H. Kawakita, H. Kobayashi, A. L. Cochran, W. M. Harris, A. J. McKay, N. Biver: The volatile composition and activity of comet 103p/hartley 2 during the epoxi closest approach, The Astrophysical Journal Letters, 2011., Volume 734, Number 1, ApJ 734 L8 doi:10.1088/2041-8205/734/1/L8, <http://iopscience.iop.org/2041-8205/734/1/L8/article>, és http://iopscience.iop.org/2041-8205/734/1/L8/pdf/2041-8205_734_1_L8.pdf)

Nakamura, T., Noguchi, T., Tsuchiyama, A., Ushikubo, T., Kita, N. T., Valley, J. M., Zolensky, M. E., Kakazu, Y., Sakamoto, K., Mashio, E., Uesugi, K., and Nakano, T. (2008) Chondrulelike Objects in Short-Period Comet 81P/Wild 2. Science, v. 321, p. 1644-1667. doi:10.1126/science.1160995.

Nyikolaj Sejkov: Élet és szimmetria, (Budapest: Gondolat Kiadó, 1987)

Plate tectonic maps and Continental drift animations by C. R. Scotese, PALEOMAP Project (www.scotese.com), Scotese, C. R., 2001. Atlas of Earth History, Volume 1, Paleogeography, PALEOMAP Project, Arlington, Texas, 52 pp. Scotese, C.R., 2002, www.scotese.com, (PALEOMAP website)

presolar.wustl.edu/Laboratory_for_Space_Sciences/Publications_2013_files/jadhavetal2013.pdf

R. I. Kaiser, A. M. Stockton, Y. S. Kim, E. C. Jensen, R. A. Mathies. On the formation of dipeptides in interstellar model ices. *The Astrophysical Journal*, 2013; 765 (2): 111 DOI: 10.1088/0004-637X/765/2/111
<http://iopscience.iop.org/0004-637X/765/2/111/>

Richard A. Kerr. 2004 (Apr 23). "New Biomarker Proposed for Earliest Life on Earth." *Science* 304:503.

Richard B. Hoover, Ph.D.: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites, *Journal of Cosmology*, 2011. március, Vol 13, journalofcosmology.com/Life101.html, NASA/Marshall Space Flight Center

Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa and Enceladus, pdf., Space Science Office, NASA/Marshall Space Flight Center, Huntsville

Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa and Enceladus, http://sdcc3.ucsd.edu/~ir118/Leiden2010/Hoover_JOC_MS.pdf, és <http://journalofcosmology.com/Life102.html>

Rick Cavicchioli: Cold, Salty and Promiscuous - Gene-shuffling Microbes Dominate Antarctica's Deep Lake, U.S. Department of Energy Joint Genome Institute (DOE JGI)

Robin Canup, Kaliforniai Egyetem, Riverside, NASA PR, 2009.04.09.
http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/09apr_theia/www.csillagaszat.hu/fold_es_hold/20090415-theia-stereo-kereses.html

S. J. Mojzsis, G. Arrhenius, K. D. McKeegan, T. M. Harrison, A. P. Nutman, and C. R. L. Friend. 1996 November 07. "Evidence for life on Earth before 3,800 million years ago." *Nature* 384:55f., 59.

S.D.J. Russell, F.J. Longstaffe, P.L. King, T.E. Larson: „The oxygen-isotope composition of chondrules and isolated forsterite and olivine grains from the Tagish Lake carbonaceous chondrite” *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 74, Issue 8, 15 April 2010, 2484-2499

Seresné Hartai Éva: Általános, szerkezeti és történeti földtan. Oktatási segédlet 2001

Stephen J. Mojzsis, T. Mark Harrison, Robert T. Pidgeon: Oxygen-isotope evidence from ancient zircons for liquid water at the Earth's surface 4,300 Myr ago, *Nature* 2001. január 11., Vol 409.

Szabó M. Gyulai: Kisbolygók és üstökösök fizikai paramétereinek meghatározása fotometriai módszerekkel (Doktori értekezés), Szegedi Tudományi Egyetem, Kísérleti Fizikai Tanszék, Szeged, 2005.

T. E. Zegers, M. J. de Wit, J. Dann and S. H. White: Vaalbara, Earth's oldest assembled continent? A combined structural, geochronological, and palaeomagnetic test, *Terra Nova*, 10, 250±259, 1998, Blackwell Science Ltd

Takashi Mikouchi, Michael Zolensky, Marina Ivanova, Osamu Tachikawa, 1 Mutsumi Komatsu, Loan Le, and Matthieu Gounelle: Dmitryivanovite: A new high-pressure calcium aluminum oxide from the Northwest Africa 470 CH3 chondrite characterized using electron backscatter diffraction analysis, *American Mineralogist*, Volume 94, pages 746–750, 2009

The Gateway to Astronaut Photography of Earth,
www.eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/photo.pl?mission=STS51I&roll=33&frame=56AA

Tobias J. Erb, Ivan A. Berg, Volker Brecht, Michael Müller, Georg Fuchs, Birgit E. Alber (Pharmazie und Geowissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Schänzlestrasse 1, 79104 Freiburg, Germany).
 Synthesis of C5-dicarboxylic acids from C2-units involving crotonyl-CoA carboxylase/reductase: The ethylmalonyl-CoA pathway, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, June 19, 2007 vol.104 no.25 10631-10636, DOI:10.1073/pnas.0702791104

Trieloff, M., Jessberger, E. K., Herrwerth, I., Hopp, J., Fieni, C., Ghelis, M., Bourot-Denise, M., and Pellas, P. (2003) Structure and thermal history of the H-chondrite parent asteroid revealed by thermochronometry, *Nature*, v. 422, p. 502-506.

Uwe-M. Troppenz, David Schmälzle: Wohin die Spuren führen - Das neue Bild des Präkambriums: Franceville-, Montana- und Ediacarafauna

Uwe-M. Troppenz, Roland Vinx, David Schmälzle: Bemerkenswerte Sedimentstrukturen in der 1,88-1,85 Milliarden Jahre alten Västervik-Formation, Schweden

Uwe-M. Troppenz, Sven Littkowski: Lebensbild der "lebendigen Milliarde" (1,88-0,78 Mrd.)

Uwe-M. Troppenz, Sven Littkowski: The Mesoproterozoic - no "boring billion"

Uwe-M. Troppenz: Ein merkwürdiges Spurenfossil in einem unterkambrischen Leopardensandstein (früher als „Tigersandstein“ benannt)

Uwe-M. Troppenz: Ein mutmaßlicher unterkambrischer Sphenothallus sp. (Cnidaria) von Nienhagen bei Warnemünde, Mecklenburg

Uwe-M. Troppenz: Gabavermis annulatus - ein rätselhaftes Fossil der "Kambrischen Explosion"

Uwe-M. Troppenz: The New Precambrian

www.researchgate.net/profile/Uwe-M-Troppenz

Uwe-M. Troppenz: THE NEW PRECAMBRIAN - No "boring", but bustling billions in a succession of evolutions and global catastrophes", 132 pp., 110 pictures, 2 timetables, paperback, 2017,

Uwe-M. Troppenz: Wohin die Spuren führen, Spurenfossilien, Erdgeschichte, Präkambrium, Montana-Fauna, Darwinismus, Wissenschaftskritik, Religion und Naturwissenschaften uvm. - 172 Seiten auf Fotoglanzpapier, 136 Bilder, englische Zusammenfassung.

Uwe-M. Troppenz: Wohin die Spuren führen, weltweit erstes Buch über den sensationellen Fund in Gabun - die 2,1 Milliarden Jahre alten vielzelligen Gabonionten! In Zusammenarbeit mit dem Entdecker Prof. Dr. A. El Albani.

Uwe-M. Troppenz:

[www.palaeontologie-](http://www.palaeontologie-troppenz.de/?fbclid=IwAR0Z6_2PH8b2Qh7PZj9XdUzcR1f-LyeINyUd-1SljPfuIazx140N9GS8K3M)

[troppenz.de/?fbclid=IwAR0Z6_2PH8b2Qh7PZj9XdUzcR1f-LyeINyUd-1SljPfuIazx140N9GS8K3M](http://www.palaeontologie-troppenz.de/?fbclid=IwAR0Z6_2PH8b2Qh7PZj9XdUzcR1f-LyeINyUd-1SljPfuIazx140N9GS8K3M)

www.facebook.com/100015447726437/posts/1045835095941405/

www.researchgate.net/profile/Uwe-M-Troppenz

Vadász Elemér: Földtörténet és földfejlődés Akadémiai Kiadó, Budapest, 1957.

Vajda György (1981): Energetika I. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Völgyesi Lajos, sci.fgt.bme.hu/volgyesi/

Wacey, David: *Early Life on Earth, A Practical Guide* 2009. Springer Science Business Media B.V.

William Kelly: *Evolution of the continents*, New York State Geological Survey, New York State Museum, Teachers Workshop On Evolution, 2009 február 06.

Woese C, Kandler O, Wheelis M (1990.). „Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya.”. *Proc. Nati. Acad. Sci. USA*, Vol. 87, pp., 4576-4579, June **1990.**, DOI:10.1073/pnas.87.12.4576. PMID 2112744.

www.csillagaszat.hu/bolygokozi_anyag/20131110-posztagb-szemcsek.html

www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2166589/The-oldest-biggest-asteroid-crater-discovered-Greenland--suggesting-huge-impact-billion-years-ago.html

Yuichiro Ueno, Hisayoshi Yurimoto, Hideyoshi Yoshioka, Tsuyoshi Komiya, és Shigenori Maruyama: „Ion microprobe analysis of graphite from ca. 3.8 Ga metasediments, Isua supracrustal belt, West Greenland: Relationship between metamorphism and carbon isotopic composition”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 66, No. 7, pp. 1257–1268, 2002

Zdenek Burian, Josef Wolf: *Az őskori ember*, Gondolat kiadó 1981.

Zdenek Burian, Zdenek V. Spinar: *Élet az ember előtt*, Gondolat kiadó 1976.

Z.X. Li, D.A.D. Evans, S. Zhang A 90° spin on Rodinia: possible causal links between the Neoproterozoic supercontinent, superplume, true polar wander and low-latitude glaciation,
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X04000640>

Boritó k p forr ssa:

El mar de Cortés profundo, CICESE incursiona en las

profundidades, Autor(es): Adriana Castillo Blancarte

Créditos: Producción audiovisual - Jennyfer de la Cerda Nuño

2013-12-10 Ciencias del mar y de la Tierra

TODoS@CICESE - Comunicamos ciencia,

todos.cicese.mx/sitio/noticia.php?n=328#.Yt6XAmDP1ZV

Fumarolas submarinas, bioenergía y origen de la vida, 2014. 06- 08

www.sobreestoyaquello.com/2014/06/fumarolas-submarinas-bioenergia-y.html

www1.udel.edu/researchmagazine/issue/vol3_no2/nano_world.html

