

MUNI
SCI

Klimatické změny a jejich odraz ve vývoji života na Zemi

Část 4.

Odysea mnohobuněčných živočichů

Tomáš Kumpan

kumpan@sci.muni.cz

Ústav geologických věd PŘF MUNI

2024

Ještě více spolupráce - vznik mnohobuněčných organismů

- vznik **mnohobuněčných forem života** navázal pravděpodobně záhy na vznik jaderných buněk
- existují ovšem i bezjaderné mnohobuněčné organizmy
- teorií vzniku mnohobuněčnosti je řada, často v nich opět hraje zásadní roli symbióza
- tyto způsoby vzniku jsou pozorovány i na současných organizmech

- **symbiotická teorie** - symbióza různých druhů jednobuněčných organismů, z nichž každý zastává určitou roli

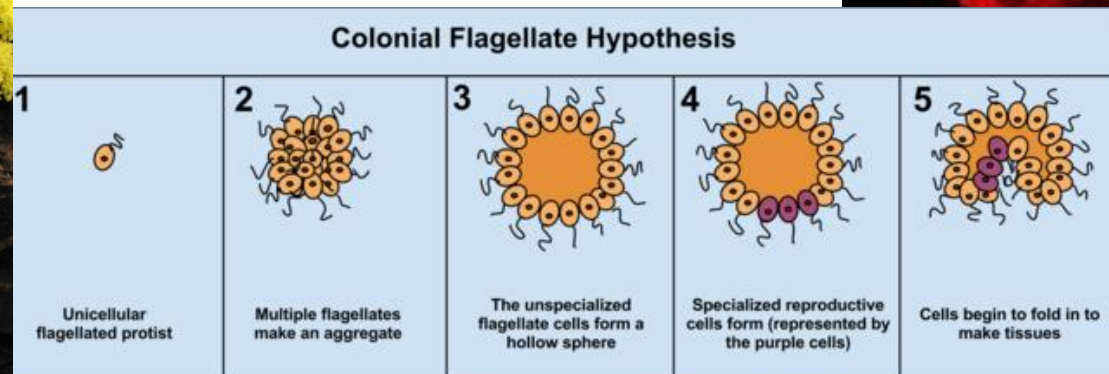
- **koloniální teorie** - symbióza mnoha jedinců stejného druhu, z nichž někteří se specializují k některým životním úkonům

- **predační teorie** - jednobuněčné organismy vyvinuly mnohobuněčnost, aby bylo obtížnější je konzumovat jako kořist

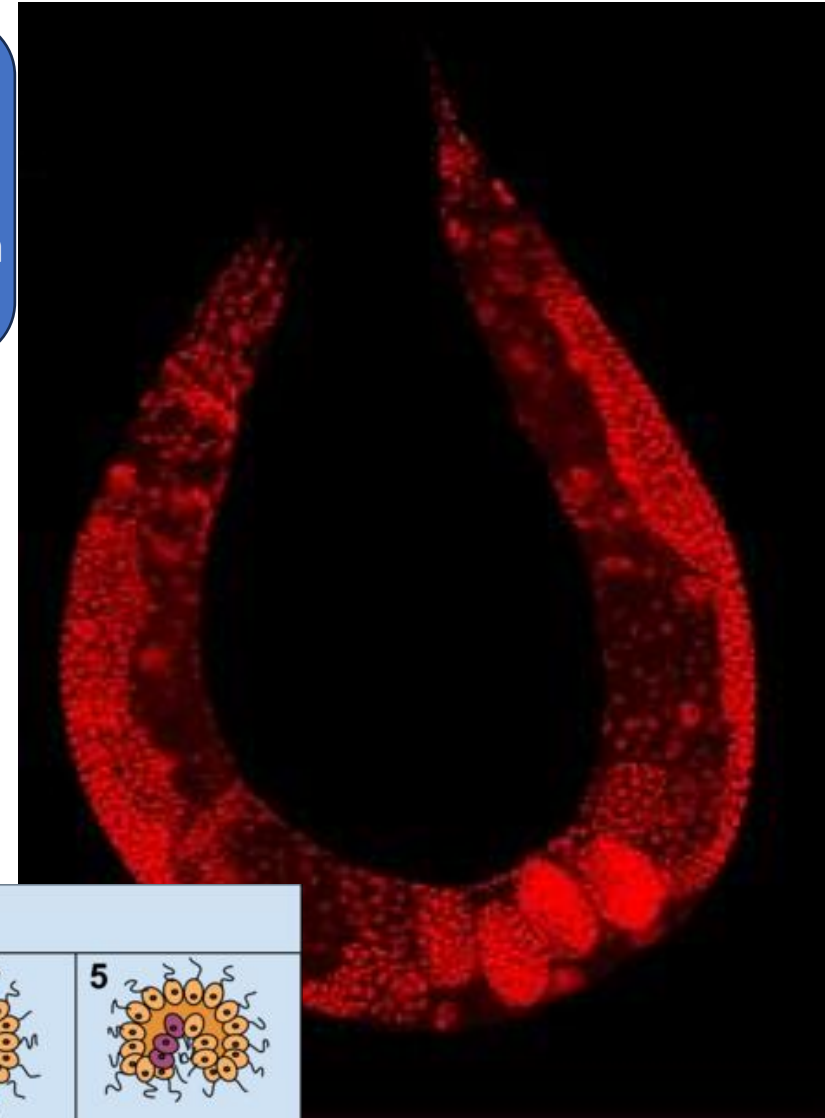


<https://arrowsmithnats.org/slime-molds-2/>

Současné hlenky – kolonie eukaryot

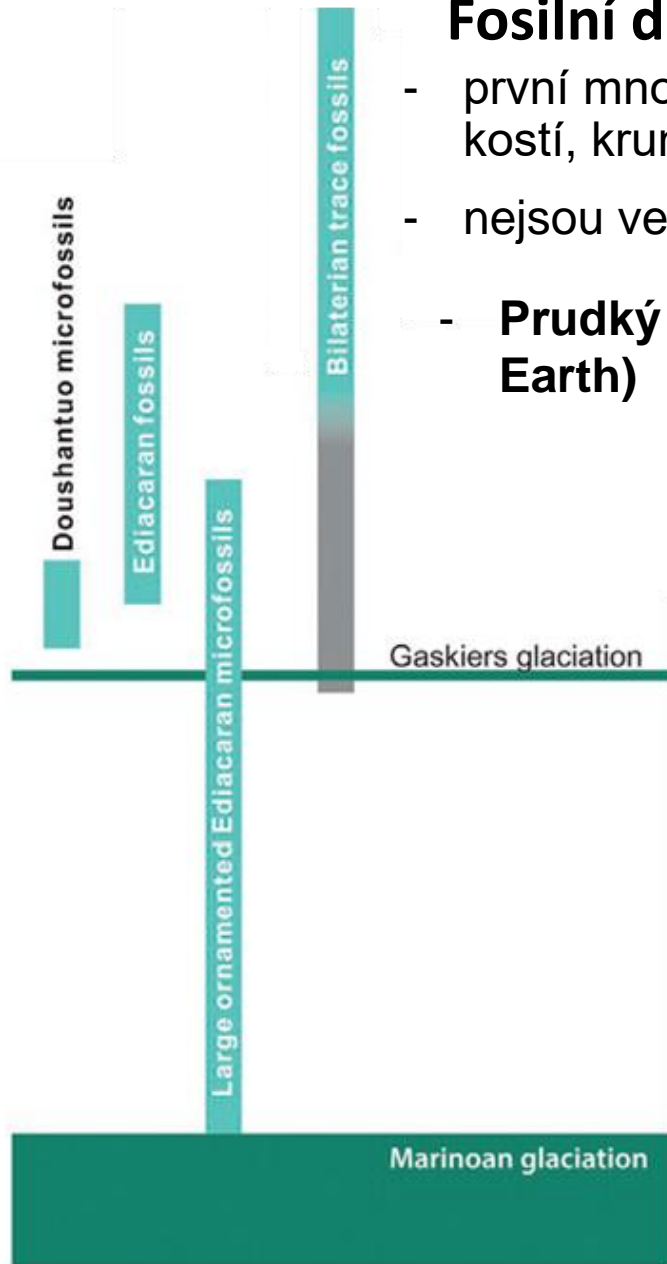
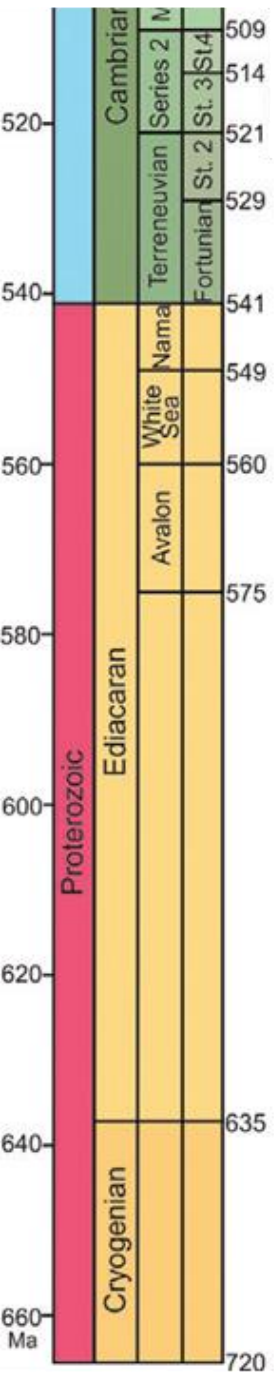


https://en.wikipedia.org/wiki/Multicellular_organism#/media/File:ColonialFlagellateHypothesis.png



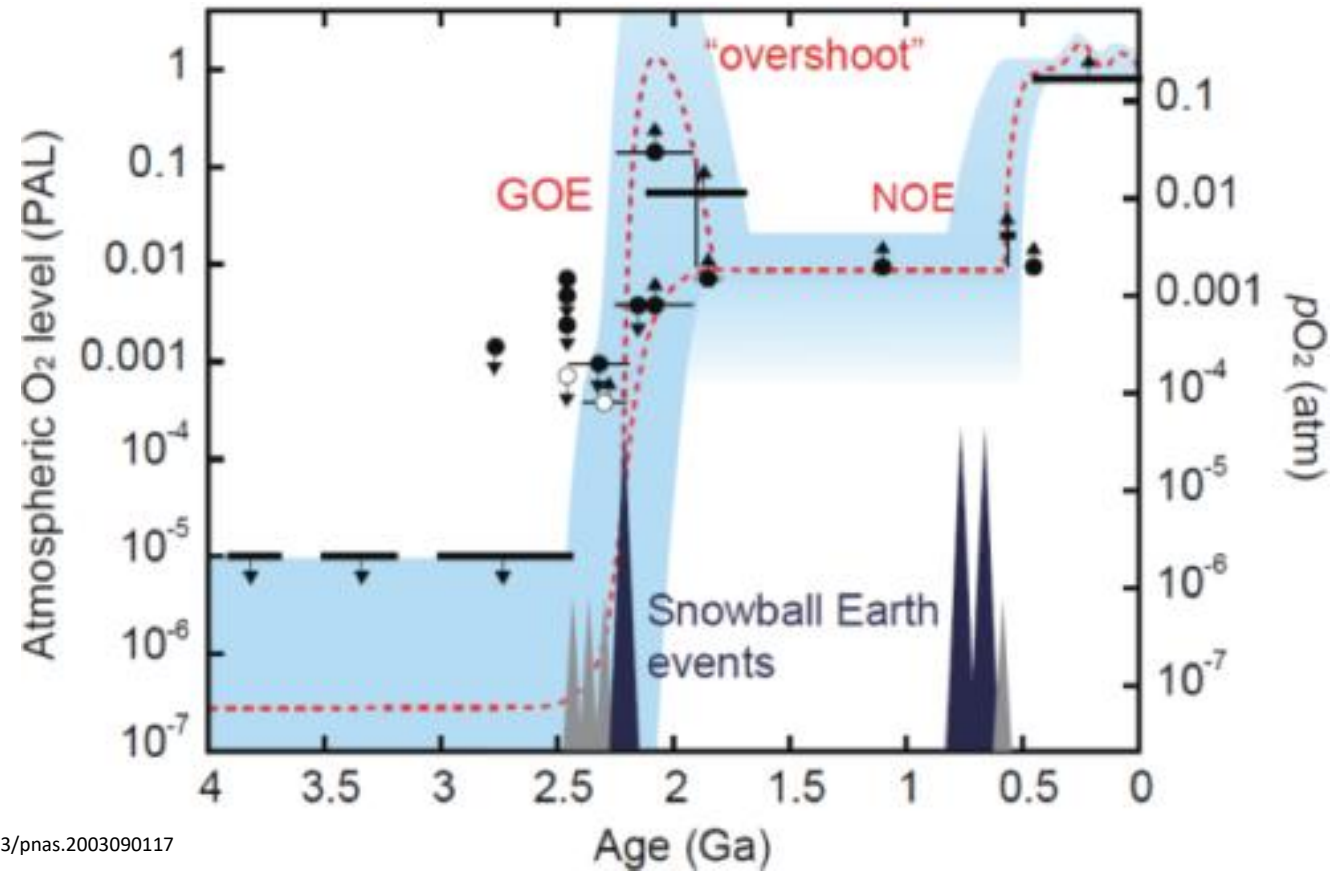
Řez hlísticí

https://en.wikipedia.org/wiki/Multicellular_organism#/media/File:C_elegans_stained.jpg



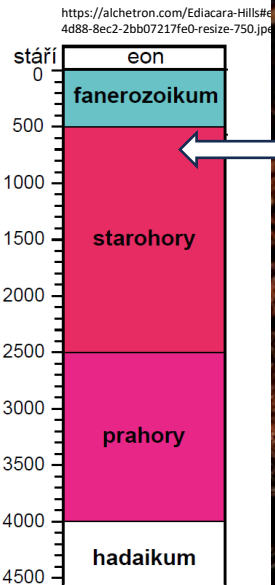
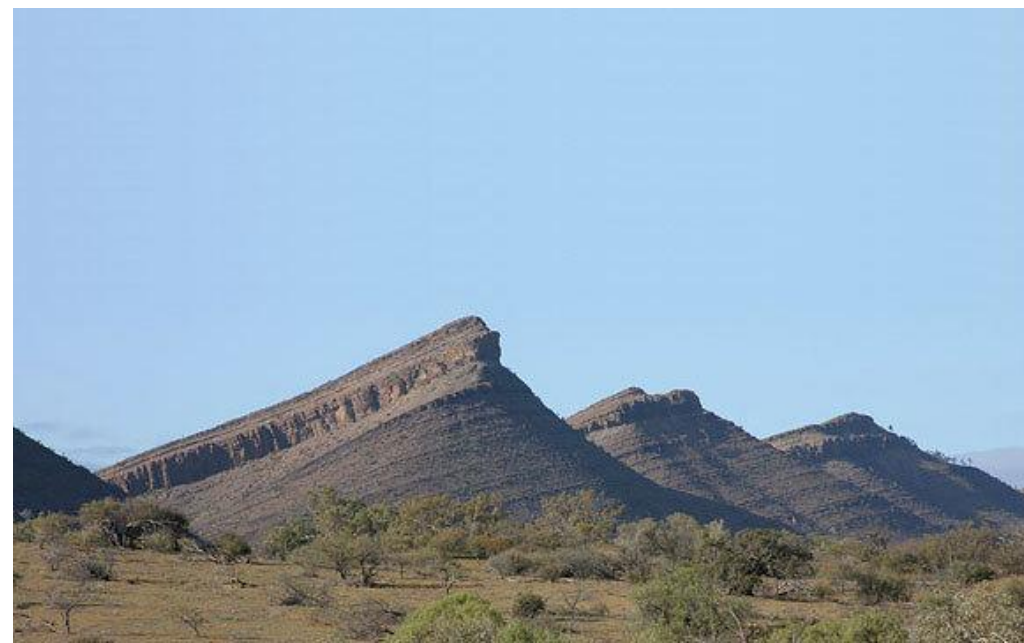
Fosilní doklady mnohobuněčných organismů

- první mnohobuněčné organismy byly jednoduché měkkotělé organismy bez kostí, krunýřů nebo jiných tvrdých částí těla
- nejsou ve fosilních záznamu dobře zachovány
- Prudký rozvoj přišel po poslední z velkých dob ledových (Snowball Earth)



Ediakarská biota

- Podle lokality Ediacara hills v Austrálii
- Pískovce staré cca 600 milionů let (konec období neoproterozoika)

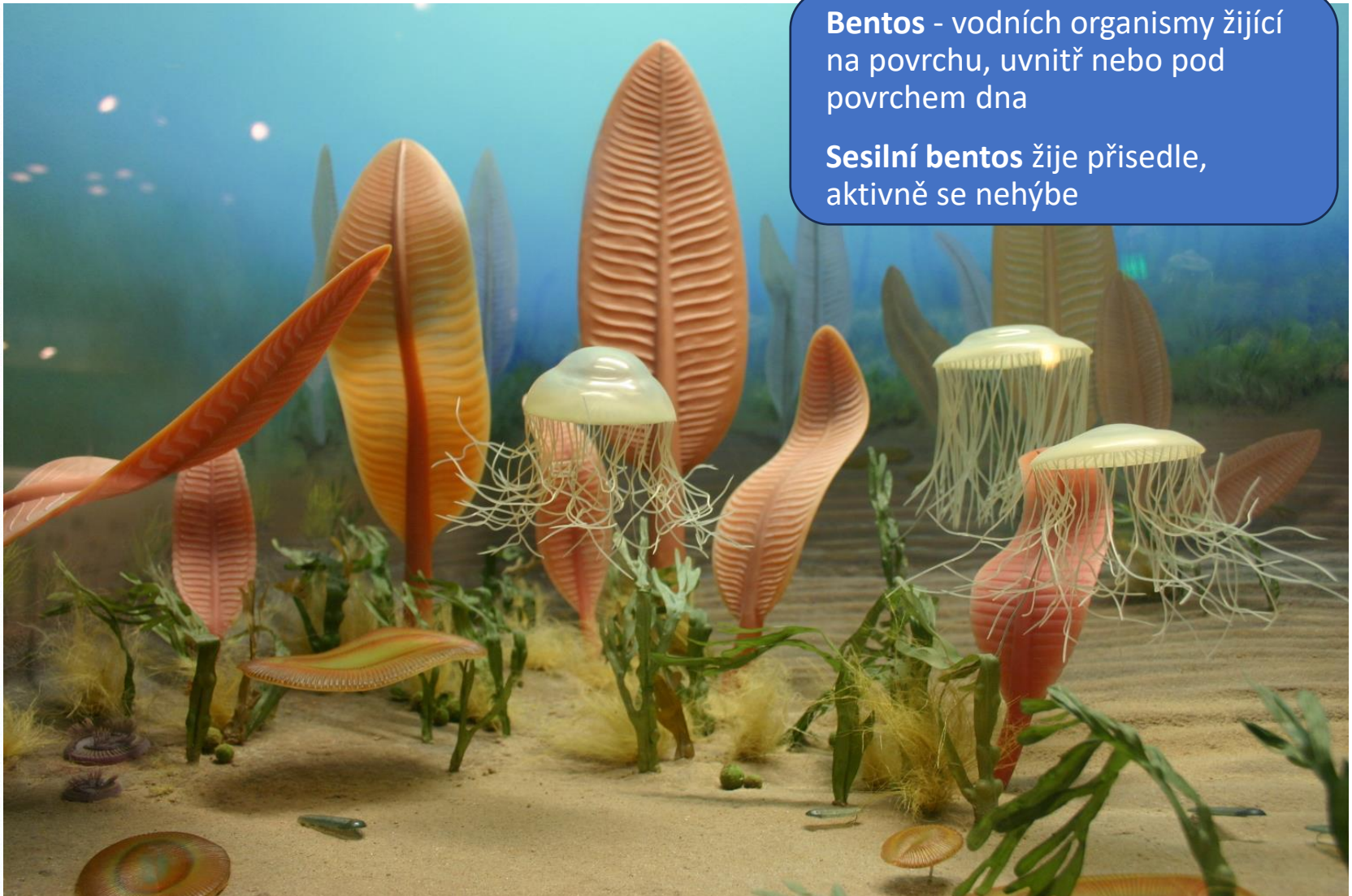
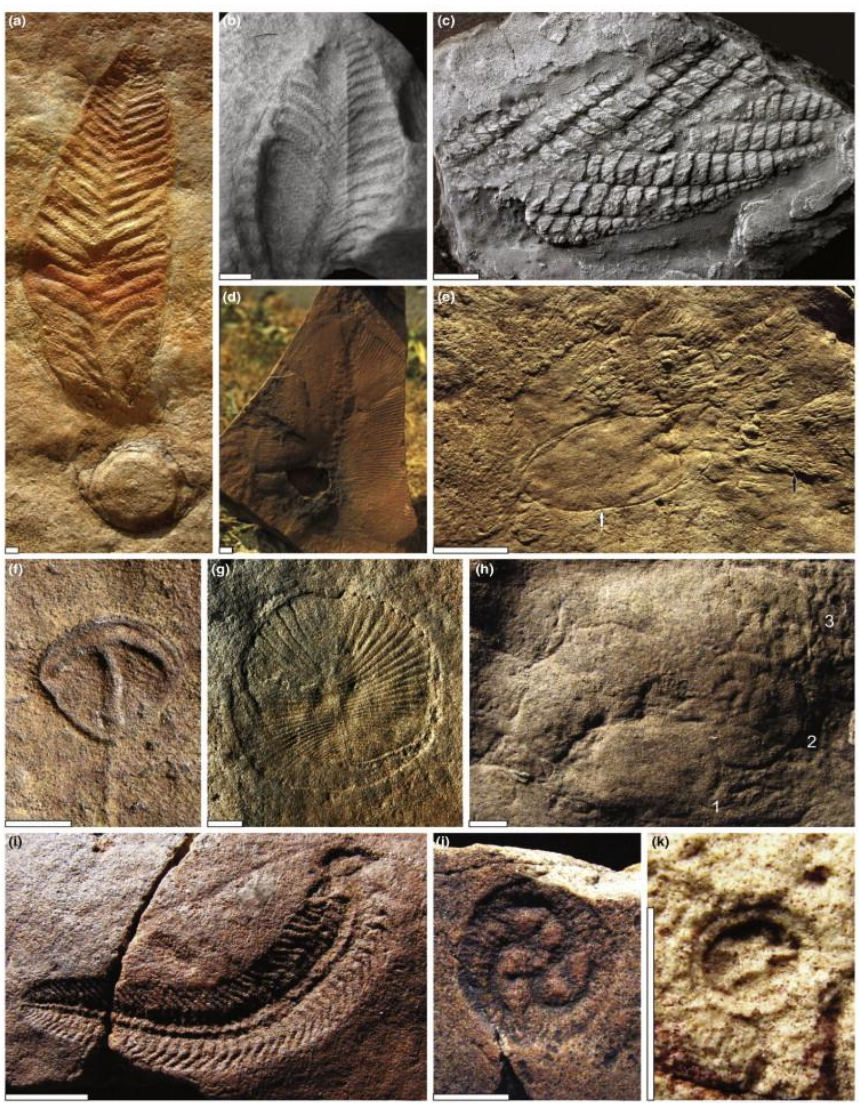


<https://www.parks.sa.gov.au/park-management/new-in-sa-national-parks/nilpena-ediacara/the-nilpena-story>

- Do objevu a pochopení ediakarské bioty nebyly takto staré fosilie známé
- Proto bylo hadaikum, archaikum a proterozoikum označováno jako azoikum – období bez živočichů/života

<https://www.nationalgeographic.com/travel/article/fossil-hunt>

- Ediakarská biota - měkkotělé organizmy – nejisté zařazení k dnes známým organizmům; u mnoha blízkost k lárčkovcům (žahavcům), houbovcům, případně protistům (většinou jednobuněční eukaryoti, dosahující v některých případech mnohobuněčnosti)
- Většinou interpretování jako přisedlí, nepohybující se
- „ediakarská zahrada Edenu“ – nebylo třeba se pohybovat za potravou (např. sinicemi), která rostla všude kolem nich a na nich, nebo ji filtrovali z vody



Bentos - vodních organismy žijící na povrchu, uvnitř nebo pod povrchem dna

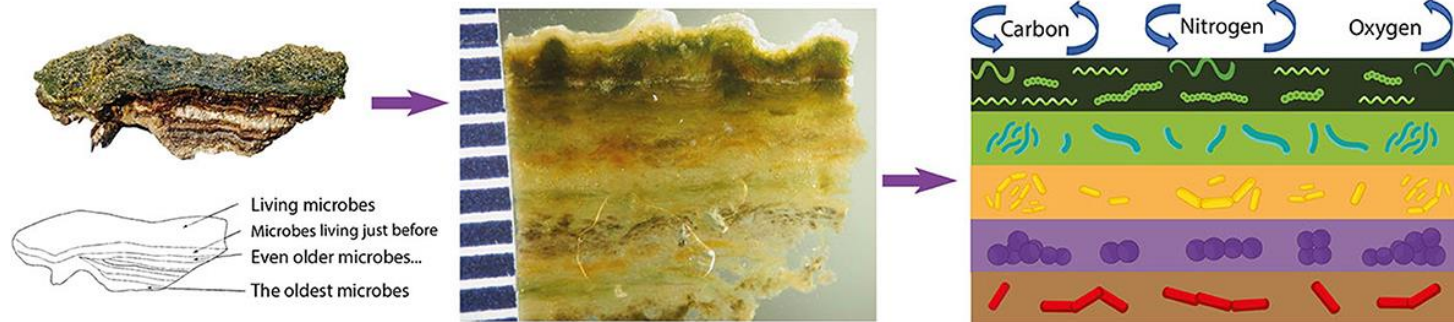
Sesilní bentos žije přisedle, aktivně se nehýbe



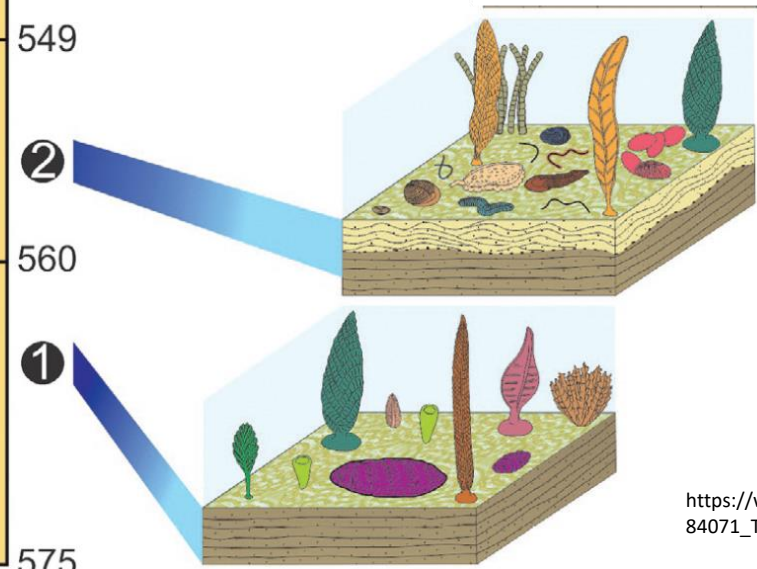
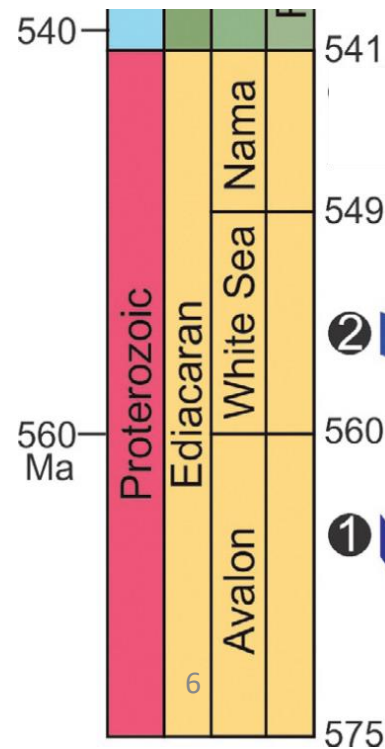
Mikrobiální rohože

Od archaika do začátku paleozoika byla dna mělkých moří porostlá mikrobiálními rohožemi/koberci (v nejmělkých vodách vznikaly stromatolity)

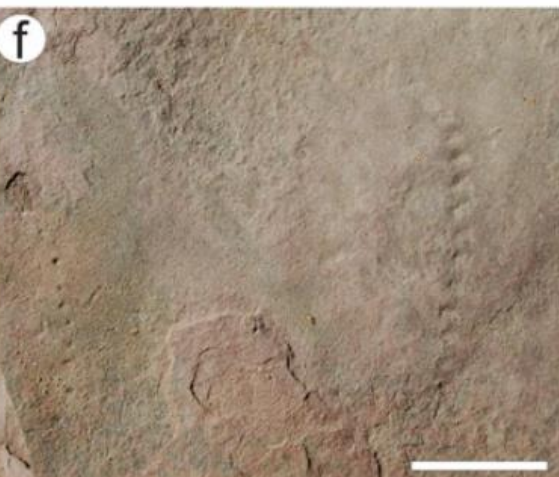
Zachování měkkotělé ediakarské bioty díky mikrobiálním povlakům



<https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2022.654148>



https://www.researchgate.net/publication/310484071_The_Cambrian_Explosion



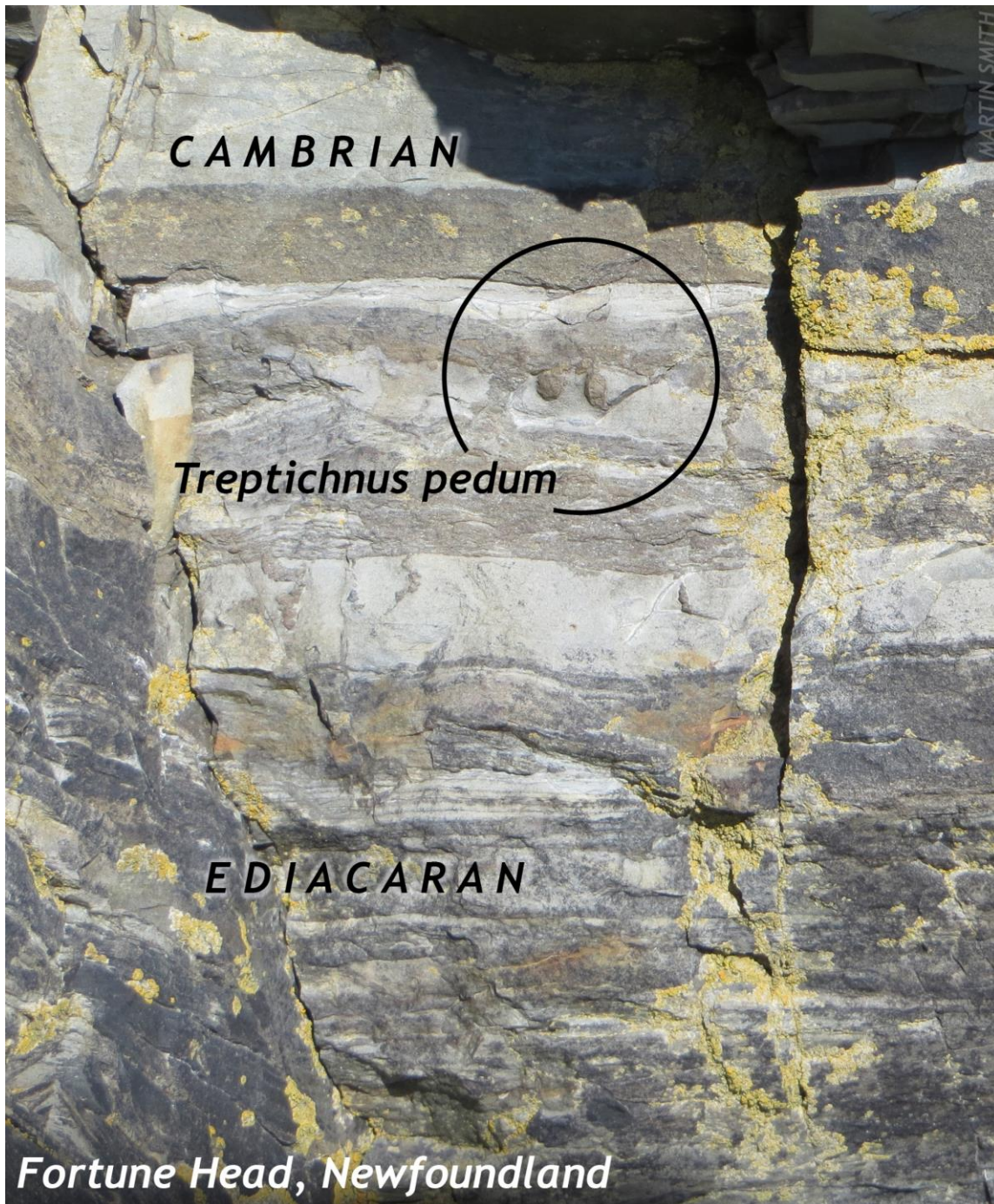
- Současně s prvními pevnými schránkami dochází na konci neoproterozoika k nárůstu aktivity mnohobuněčných organismů **schopných pohybu**
- skupina „bilateralia“ (bilaterální symetrie těl) = **mnohobuněční živočichové**

Vagilní bentos se aktivně pohybuje

- Doklady jsou především fosilní stopy (**ichnofosilie**; ichnos = stopa), většina z živočichů byla totiž stále měkkotělých, zachovat se tak mohly jen jejich stopy

https://www.researchgate.net/publication/310484071_The_Cambrian_Explosion

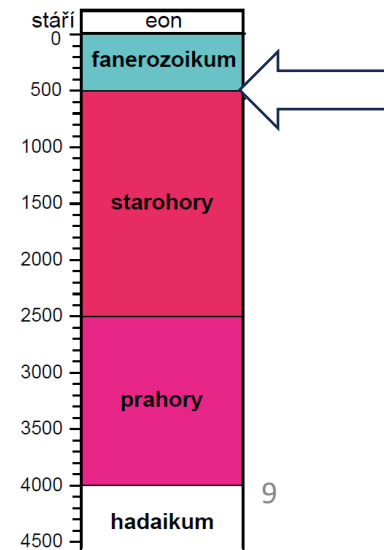
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-9600-2_3



<https://opengeology.org/historicalgeology/mass-extinctions/>

- Záznam zvyšování diverzity živočichů doložen zvyšováním různorodosti i počtu fosilních stop ve stále mladších a mladších vrstvách
- Vrstvy proterozoika mají zachovalé struktury mikrobiálních rohoží, s žádným nebo minimálním prohrabáváním a provrtáváním
- **V proterozoiku mnohobuněční živočichové žili jen na povrchu**
- **V jednom momentě (vrstvě) se to však změnilo**
- **První hlubší zavrtání organismu znamená další zásadní zásah organismů do globálního ekosystému, krizi, vymírání a pak diverzifikaci nevídaných rozměrů**
- Stopa ichnodruhu *Treptichnus pedum* – první záznam zahrabání se živočicha pod mořské dno
- Geologové se dohodli na tom, že vrstva s prvním výskytem této stopy značí celosvětově začátek eonu fanerozoikum (éry paleozoikum, útvaru kambrium)

FANEROZOIKUM: období zřejmého života – od jehož počátku jsou hojné fosilie mnohobuněčných organismů



PALEOZOIKUM

(prvohory)



IUGS

MEZINÁRODNÍ CHRONOSTRATIGRAFICKÁ TABULKA

www.stratigraphy.org

Mezinárodní stratigrafická komise

v 2021/10



Eon / eon		Erám / éra		Úhrar / perioda		GSSP	absolutní stáří (Ma)
Erám / éra	Úhrar / perioda	Oddělení / epocha	Stupeň / věk	Erám / éra	Úhrar / perioda		
fanerozoikum	kenozoikum	kvartér	holocén	meghalajen	svrchní	0,00012	0,00012
			pleistocén	neolithig	svrchní	0,0117	0,0117
		neogén	pliocén	svrchní	2,58	2,58	
			miocén	svrchní	5,333	5,333	
			svrchní	7,246	7,246		
		paleogén	oligocén	svrchní	11,63	11,63	
			eocén	svrchní	13,82	13,82	
				spodní	15,97	15,97	
			paleocén	svrchní	20,44	20,44	
				spodní	23,03	23,03	
	spodní			27,82	27,82		
	spodní			33,9	33,9		
	spodní			37,71	37,71		
	spodní			41,2	41,2		
	mesozoikum		křída	svrchní	47,8	47,8	
		spodní		56,0	56,0		
		spodní		59,2	59,2		
		spodní		61,6	61,6		
		spodní		66,0	66,0		
		perm	svrchní	72,1 ± 0,2	72,1 ± 0,2		
spodní			83,6 ± 0,2	83,6 ± 0,2			
spodní			86,3 ± 0,5	86,3 ± 0,5			
spodní			89,8 ± 0,3	89,8 ± 0,3			
spodní			93,9	93,9			
karbon	pennsylvan	svrchní	100,5	100,5			
		spodní	~ 113,0	~ 113,0			
		spodní	~ 125,0	~ 125,0			
		spodní	~ 129,4	~ 129,4			
		spodní	~ 132,6	~ 132,6			
	missisipp	svrchní	~ 139,8	~ 139,8			
		spodní	~ 145,0	~ 145,0			
		spodní	~ 145,0	~ 145,0			
		spodní	~ 145,0	~ 145,0			
		spodní	~ 145,0	~ 145,0			

Eon / eon		Erám / éra		Úhrar / perioda		GSSP	absolutní stáří (Ma)
Erám / éra	Úhrar / perioda	Oddělení / epocha	Stupeň / věk	Erám / éra	Úhrar / perioda		
fanerozoikum	mesozoikum	jura	svrchní	tithon	152,1 ± 0,9	152,1 ± 0,9	
			svrchní	kimmeridge	157,3 ± 1,0	157,3 ± 1,0	
			střední	oxford	163,5 ± 1,0	163,5 ± 1,0	
			střední	callovian	166,1 ± 1,2	166,1 ± 1,2	
			střední	bathon	168,3 ± 1,3	168,3 ± 1,3	
		triás	střední	bajok	170,3 ± 1,4	170,3 ± 1,4	
			střední	aalen	174,1 ± 1,0	174,1 ± 1,0	
			střední	toark	182,7 ± 0,7	182,7 ± 0,7	
			spodní	piensbach	190,8 ± 1,0	190,8 ± 1,0	
			spodní	sinemur	199,3 ± 0,3	199,3 ± 0,3	
	paleozoikum	silur	svrchní	rhét	~ 208,5	~ 208,5	
			svrchní	norik	~ 227	~ 227	
			svrchní	karn	~ 237	~ 237	
			střední	ladin	~ 242	~ 242	
			spodní	anis	247,2	247,2	
		ordovik	spodní	olenek	251,2	251,2	
			spodní	ind	251,902 ± 0,024	251,902 ± 0,024	
			spodní	changhsing	254,14 ± 0,07	254,14 ± 0,07	
			spodní	wuchiaping	259,51 ± 0,21	259,51 ± 0,21	
			spodní	loping	264,28 ± 0,16	264,28 ± 0,16	
karbon	pennsylvan	spodní	capitan	266,9 ± 0,4	266,9 ± 0,4		
		spodní	word	273,01 ± 0,14	273,01 ± 0,14		
		spodní	road	283,5 ± 0,6	283,5 ± 0,6		
		spodní	kungur	290,1 ± 0,28	290,1 ± 0,28		
		spodní	artinsk	293,52 ± 0,17	293,52 ± 0,17		
	missisipp	spodní	sakmar	293,52 ± 0,17	293,52 ± 0,17		
		spodní	assel	296,9 ± 0,15	296,9 ± 0,15		
		spodní	gžel	303,7 ± 0,1	303,7 ± 0,1		
		spodní	kasimov	307,0 ± 0,1	307,0 ± 0,1		
		spodní	moskov	315,2 ± 0,2	315,2 ± 0,2		
terreneuv	spodní	baškir	323,2 ± 0,4	323,2 ± 0,4			
	spodní	serpuchov	330,9 ± 0,2	330,9 ± 0,2			
	spodní	visé	346,7 ± 0,4	346,7 ± 0,4			
	spodní	tournai	358,9 ± 0,4	358,9 ± 0,4			
	spodní	tournai	358,9 ± 0,4	358,9 ± 0,4			

Eon / eon		Erám / éra		Úhrar / perioda		GSSP	absolutní stáří (Ma)
Erám / éra	Úhrar / perioda	Oddělení / epocha	Stupeň / věk	Erám / éra	Úhrar / perioda		
fanerozoikum	paleozoikum	devon	svrchní	famen	372,2 ± 1,6	372,2 ± 1,6	
			svrchní	frasn	382,7 ± 1,6	382,7 ± 1,6	
			střední	givet	387,7 ± 0,8	387,7 ± 0,8	
			střední	eifel	393,3 ± 1,2	393,3 ± 1,2	
			spodní	ems	407,6 ± 2,6	407,6 ± 2,6	
		silur	spodní	prag	410,8 ± 2,8	410,8 ± 2,8	
			spodní	lochkov	419,2 ± 3,2	419,2 ± 3,2	
			spodní	přídolí	423,0 ± 2,3	423,0 ± 2,3	
			spodní	ludlow	425,6 ± 0,9	425,6 ± 0,9	
			spodní	gorst	427,4 ± 0,5	427,4 ± 0,5	
	kambrium	ordovik	spodní	wenlock	430,5 ± 0,7	430,5 ± 0,7	
			spodní	sheinwood	433,4 ± 0,8	433,4 ± 0,8	
			spodní	telych	438,5 ± 1,1	438,5 ± 1,1	
			spodní	aeron	440,8 ± 1,2	440,8 ± 1,2	
			spodní	rhuddan	443,8 ± 1,5	443,8 ± 1,5	
		kambrium	spodní	himant	445,2 ± 1,4	445,2 ± 1,4	
			spodní	katian	453,0 ± 0,7	453,0 ± 0,7	
			spodní	sandbian	458,4 ± 0,9	458,4 ± 0,9	
			spodní	darriwil	467,3 ± 1,1	467,3 ± 1,1	
			spodní	daping	470,0 ± 1,4	470,0 ± 1,4	
terreneuv	kambrium	spodní	floian	477,7 ± 1,4	477,7 ± 1,4		
		spodní	tremadok	485,4 ± 1,9	485,4 ± 1,9		
		spodní	stupeň 10	~ 489,5	~ 489,5		
		spodní	jiangshan	~ 494	~ 494		
		spodní	paibian	~ 497	~ 497		
	terreneuv	spodní	guzhang	~ 500,5	~ 500,5		
		spodní	drum	~ 504,5	~ 504,5		
		spodní	wuluan	~ 509	~ 509		
		spodní	stupeň 4	~ 514	~ 514		
		spodní	stupeň 3	~ 521	~ 521		
terreneuv	spodní	stupeň 2	~ 529	~ 529			
	spodní	stupeň 1	~ 541,0 ± 1,0	~ 541,0 ± 1,0			
	spodní	stupeň 1	~ 541,0 ± 1,0	~ 541,0 ± 1,0			
	spodní	stupeň 1	~ 541,0 ± 1,0	~ 541,0 ± 1,0			
	spodní	stupeň 1	~ 541,0 ± 1,0	~ 541,0 ± 1,0			

Eon / eon		Erám / éra		Úhrar / perioda		GSSP	absolutní stáří (Ma)
Erám / éra	Úhrar / perioda	Oddělení / epocha	Stupeň / věk	Erám / éra	Úhrar / perioda		
prekambrium	proterozoikum	svrchní	ediakar	~ 635	~ 635		
		svrchní	kryogen	~ 720	~ 720		
		svrchní	ton	1000	1000		
		střední	sten	1200	1200		
		střední	ectas	1400	1400		
	proterozoikum	střední	calymm	1600	1600		
		střední	stather	1800	1800		
		střední	orosir	2050	2050		
		střední	rhyak	2300	2300		
		střední	sider	2500	2500		
archaikum	střední	neo-archaikum	2800	2800			
	střední	meso-archaikum	3200	3200			
	střední	paleo-archaikum	3600	3600			
	střední	eo-archaikum	4000	4000			
	střední	hadaikum	~ 4600	~ 4600			

<https://stratigraphy.geology.cz/>

<https://stratigraphy.org/>

Postupně se pracuje na tom, aby všechny jednotky byly definovány svými spodními hranicemi na globálních stratotypoch (GSSP - Global Boundary Stratotype Section and Point). To platí i pro jednotky archaika a proterozoika, obsud definované globálním standardním stratigrafickým stářím (GSSA - Global Standard Stratigraphic Age). Neformální jednotky a jednotky doposud nepojmenované jsou psány kurzívou. Další verze tabulky a detailní informace o ratifikovaných GSSP jsou dostupné na webu <http://www.stratigraphy.org>. URL této tabulky je uveden níže.

Absolutní stáří jsou průběžně revidována a nedefinují jednotky ve fanerozoiku a ediakaru, kde jsou rozhodující pouze GSSP. Pro absolutní stáří hranic fanerozoických jednotek bez ratifikovaného GSSP nebo bez přesného absolutního datování je použit symbol (-).

Číslo schválených pododdělení/podepoch jsou v tabulce zkrácena na spřita (spodní/stáří), sv (střední) a svr (svrchní/mladší). Absolutní stáří jednotek jsou převzata z Gradstein et al. (2012) 'A Geologic Time Scale 2012', s výjimkou kvartéru, svrchního paleogénu, křída, triasu, permu a prekambria, pro něž byla data poskytnuta příslušnými ICS subkomisemi.

Barvy jednotek převzaty podle Komise pro geologickou mapu světa (Commission for the Geological Map of the World; www.cgmw.org).



Návrh originální tabulky v angličtině: K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard, N. Carr (c) Mezinárodní stratigrafická komise, říjen 2021

Způsob citace původní tabulky: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013), updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36:199-204

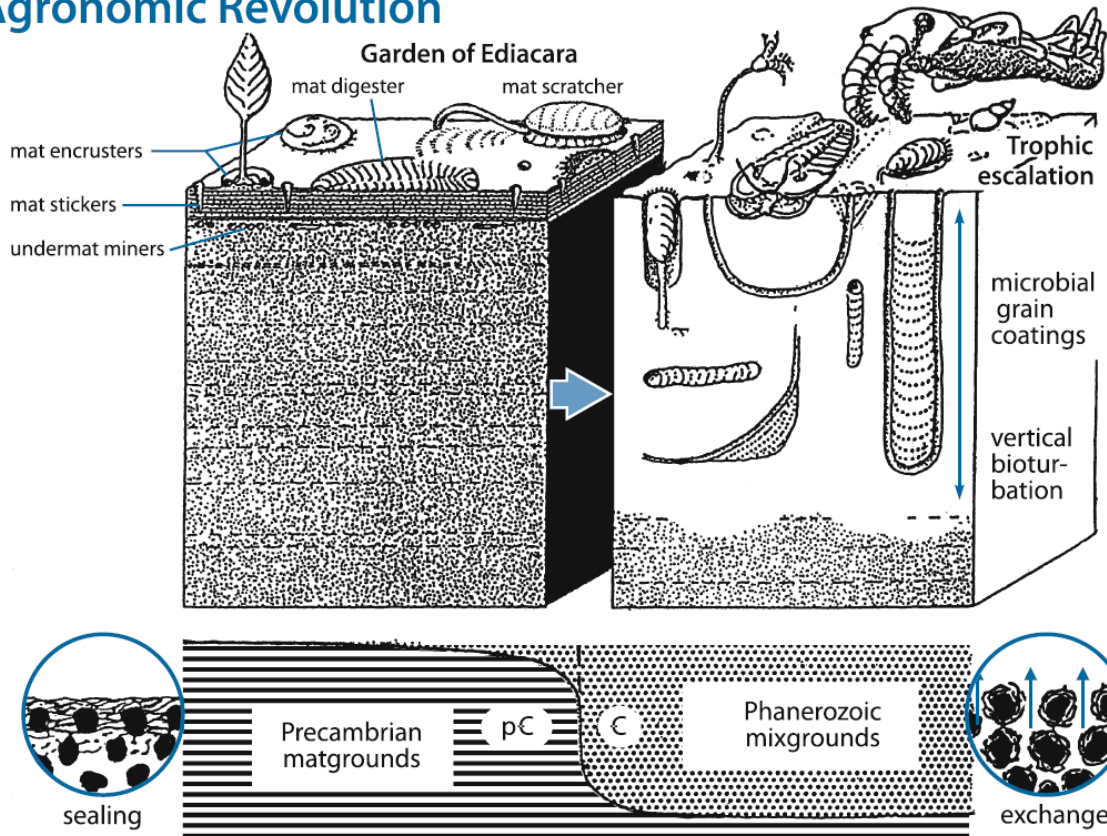
URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2021-10Czech.pdf>

Český překlad byl vyhotoven a schválen Českou stratigrafickou komisí, která je složena z pracovníků České geologické služby, Geologického ústavu Akademie věd ČR, Masarykovy univerzity, Univerzity Karlovy, Univerzity Palackého a Vysoké školy báňské. <https://stratigraphy.geology.cz>

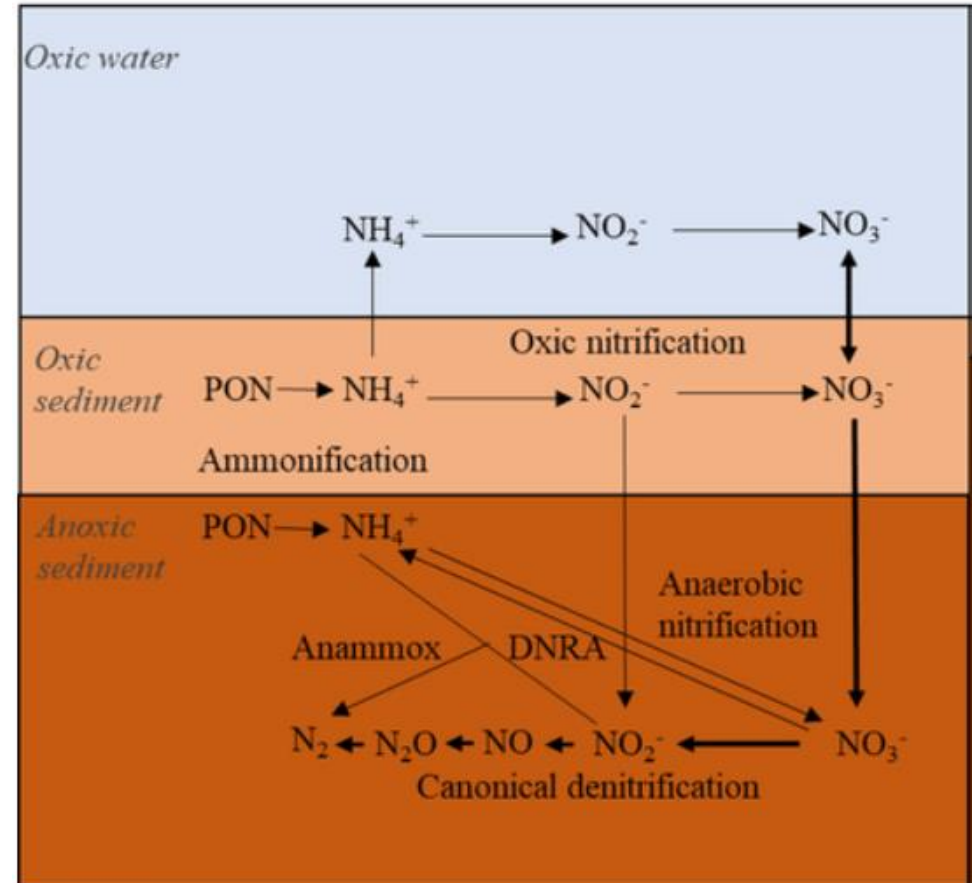


- **promíchaná vrstva sedimentu** - místo biogeochemických cyklů mnoha prvků, které přímo ovlivňují fungování mořských ekosystémů a ovlivňují produktivitu oceánů a mořskou biodiverzitu – **zároveň stoupá enormně koncentrace O₂ v atmosféře**
 - cyklus dusíku, síry, uhlíku, fosforu (prvků důležitých pro fungování buněčného života)
 - **živočiškové tak významně přispěli k vytvoření nových biogeochemických cyklů na počátku kambria**
 - **kambrická zemědělská revoluce** byla jednou z hlavních příčin tzv. **kambrické exploze**

Agronomic Revolution

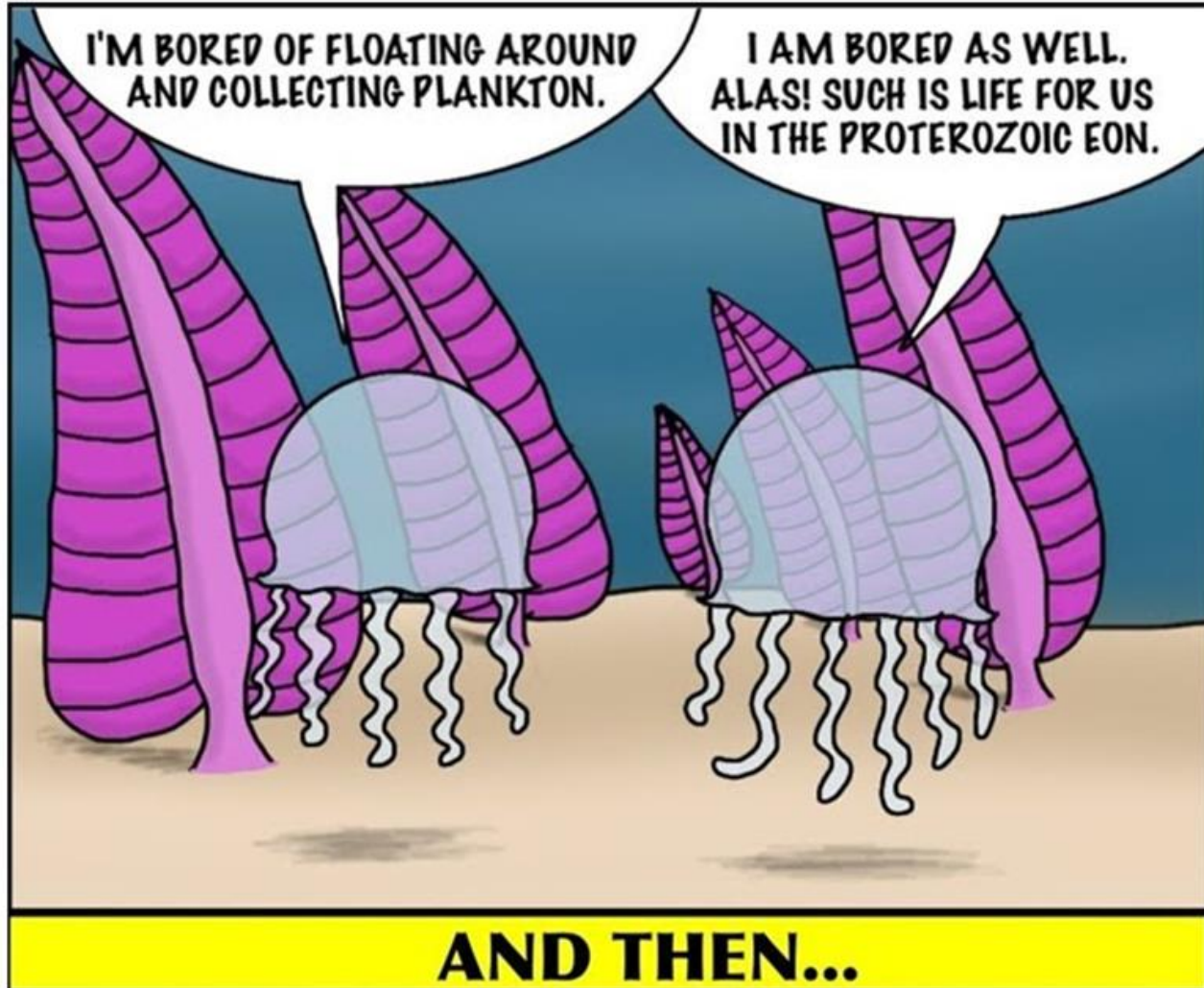


(a) Oxidic bottom water



Kambrická exploze

- Nejedná se o žádnou katastrofu, jak by z názvu mohlo vyplývat
- Ale rychlý, až explozivní, nárůst počtu známých fosilních organismů, především živočichů s pevnými schránkami a kostrami, na počátku paleozoika v kambriu



<https://www.deviantart.com/vikingalligator/art/Cambrian-Explosion-362075699>

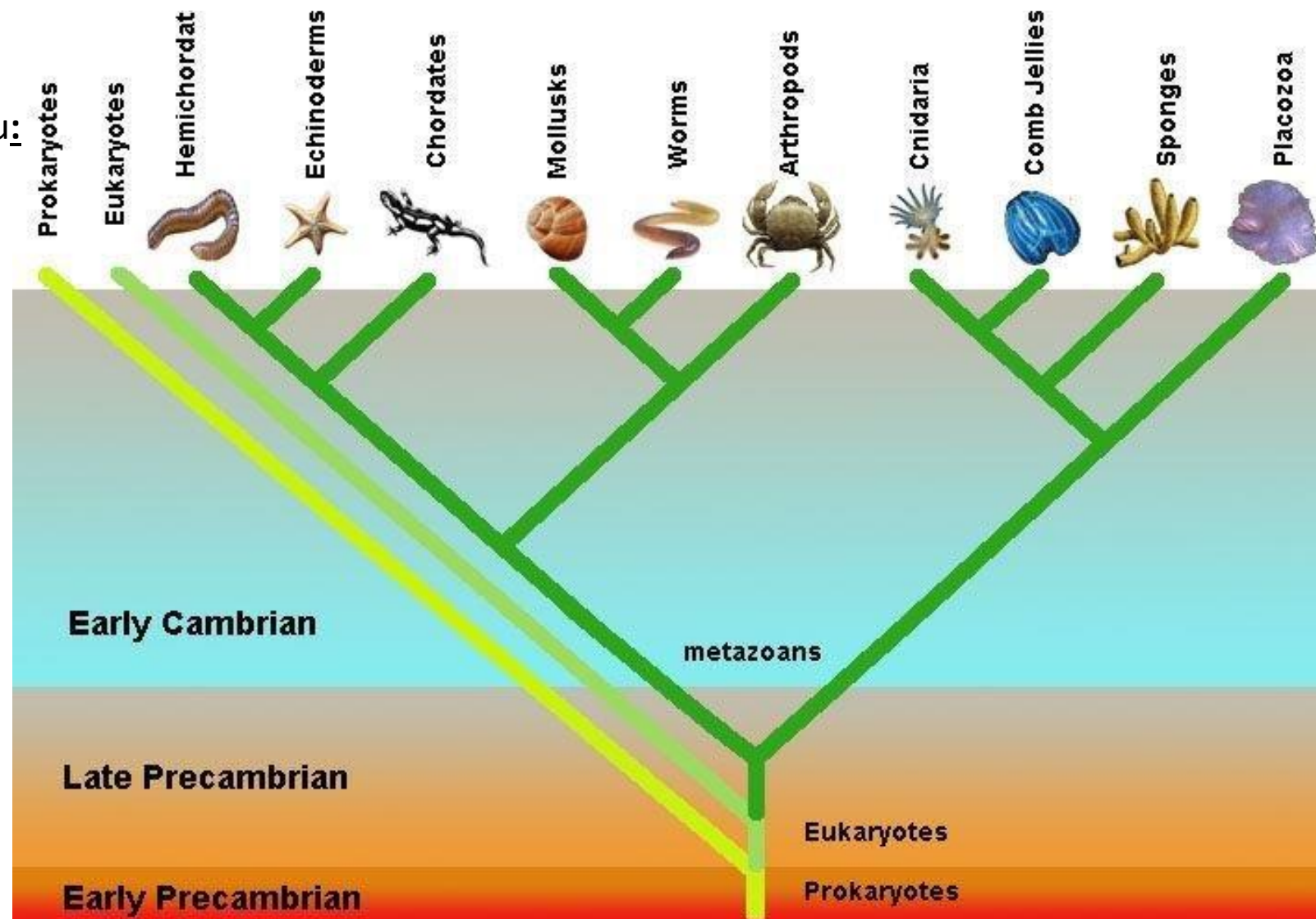
Kambrická exploze

- první výskyt fosilií všech živočišných kmenů, které mají pevné kostry nebo schránky od kambria
- jak ukazují ichnofosilie a další doklady, ke vzniku mnoha skupin došlo už v proterozoiku, ale v kambriu všichni tito živočichové vyvinuli pevné části

živočišné kmeny s pevnou kostrou

/schránkou:

- houbovci
- žahavci
- červi
- měkkýši
- ramenonožci
- mechovci
- polostrunatci
- strunatci



Kambrická exploze

- **Důvodem náhlého vzniku pevných částí mohla být změna chemizmu mořské vody s vyšším množstvím vápníku, vyvolaná zemědělskou revolucí**
- *buňky se snaží o stahování kationtů vápníku z okolí fyziologických membrán (nadbytek Ca brání životním funkcím)*
- **organizmy schopné vytvářet mikrochemické podmínky pro srážení Ca ve formě karbonátů měly významnou evoluční výhodu**
- *energeticky a fyziologicky dobrá přijatelnost CaCO₃ (karbonátové minerály kalcit, aragonit) jako kosterního doplňku*

- Dále došlo k dalšímu **skokovému nárůstu O₂ v atmosféře** (stálý rozvoj a nárůst kvantity i diverzifikace řas a sinic)

- Vyslovena byla také celá řada hypotéz, spojených s genetickou tendencí k **biomineralizaci** nebo horizontálním předání genů zodpovědných za tvorbu pevných částí

- Společně s tím rostl **konkurenční tlak**, protože pevné části umožňovaly:
 - **Lepší hrabání** v sedimentu za potravou a úkrytem před predátory
 - Před predátory chránila „pevná brnění“ – **schránky**
 - Predátorům umožňovaly zase brnění překonat struktury („zbraně“) jako **klepeta a zuby**
- **„závody ve zbrojení“**

Kambrická fauna

- kambrická mnohobuněčná faunistická společenstva sestávají především z členovců, ramenonožců a ostnokožců



<https://sciencephotogallery.com/featured/1-large-cambrian-trilobite-science-photo-library.html>



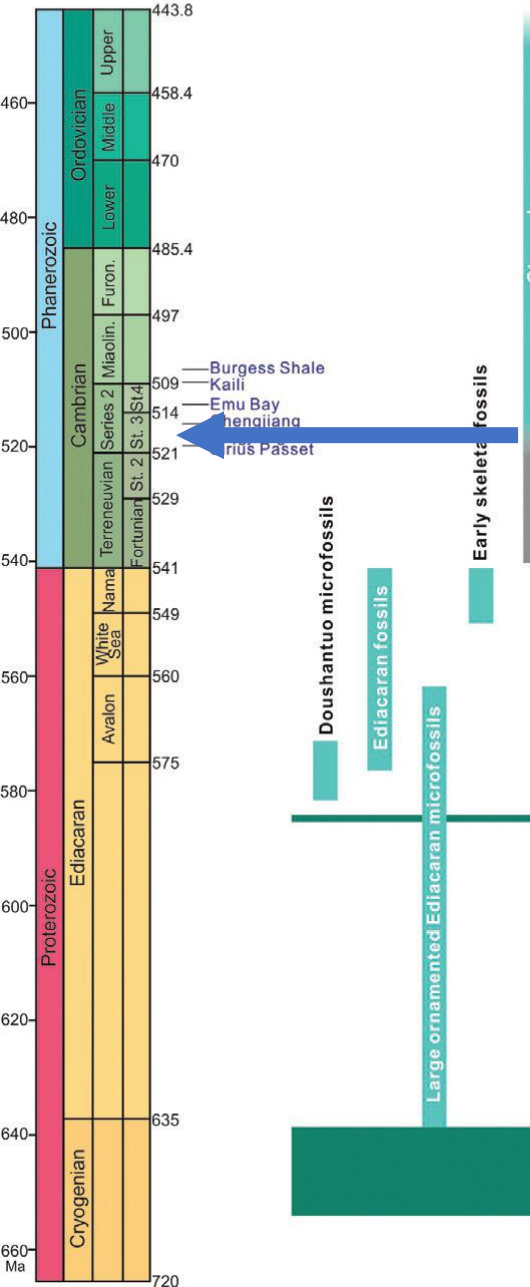
<https://geologyscience.com/geology-branches/paleontology/fossils/brachiopods/>



<https://crinoids.fossiland.com/cambrian.html>

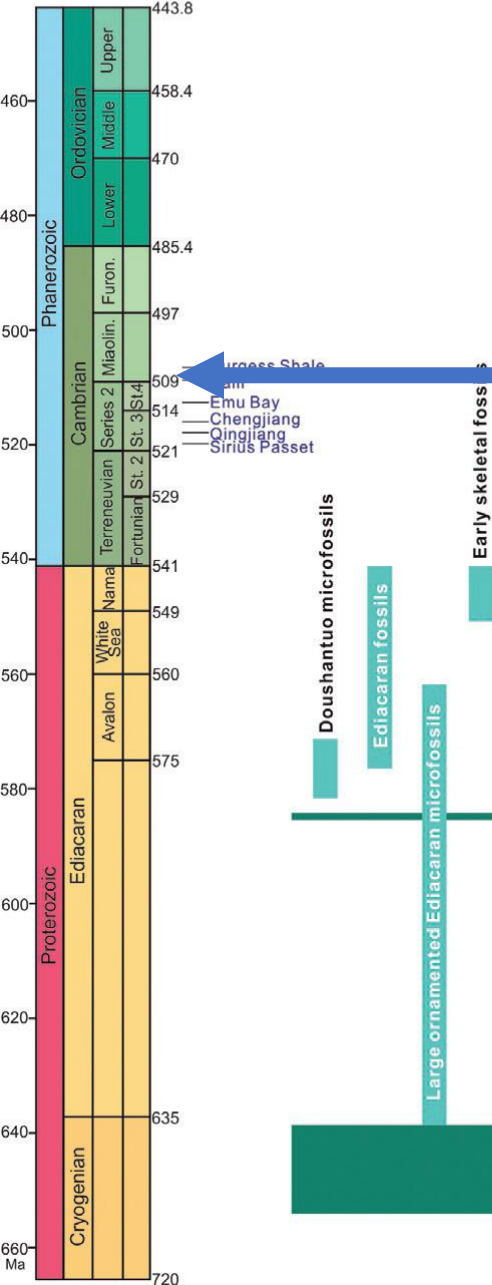
Chengjianská fauna (rané kambrium)

- Na několika lokalitách po světě byly nalezeny horniny, které zachovávají ty nejjemnější detaily i s měkkými částmi těl, případně měkkotělými organizmy

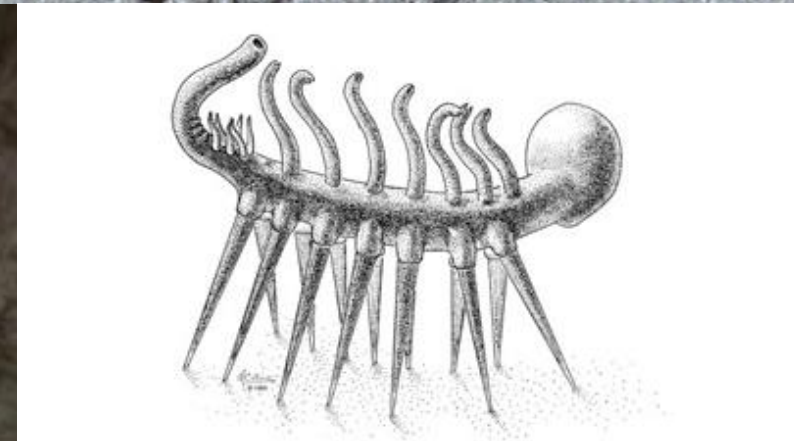


Ty poskytují výjimečný pohled do kambričských ekosystémů, které byly již velmi rozvinuté - Takové výskyty daly vzniknout hypotéze o kambričské explozi

Burgesská fauna (střední kambrium)



(Mangano and Buatois 2020)



<https://www.rom.on.ca/en/blog/new-research-from-the-burgess-shale-thorny-worms-that-swarmed-in-the-cambrian-seas>

https://jurassic-park-institute.fandom.com/wiki/Hallucigenia?file=H._sparsa.jpg



<https://www.deviantart.com/paleoguy/art/Life-on-Earth-Cambrian-Burgess-Shale-839812576>





<http://www.paleontologie.cz/pro-zajemce/zapojte-se/cgspol/>

Kambrium v Brdech



<http://www.paleontologie.cz/pro-zajemce/zapojte-se/cgspol/>

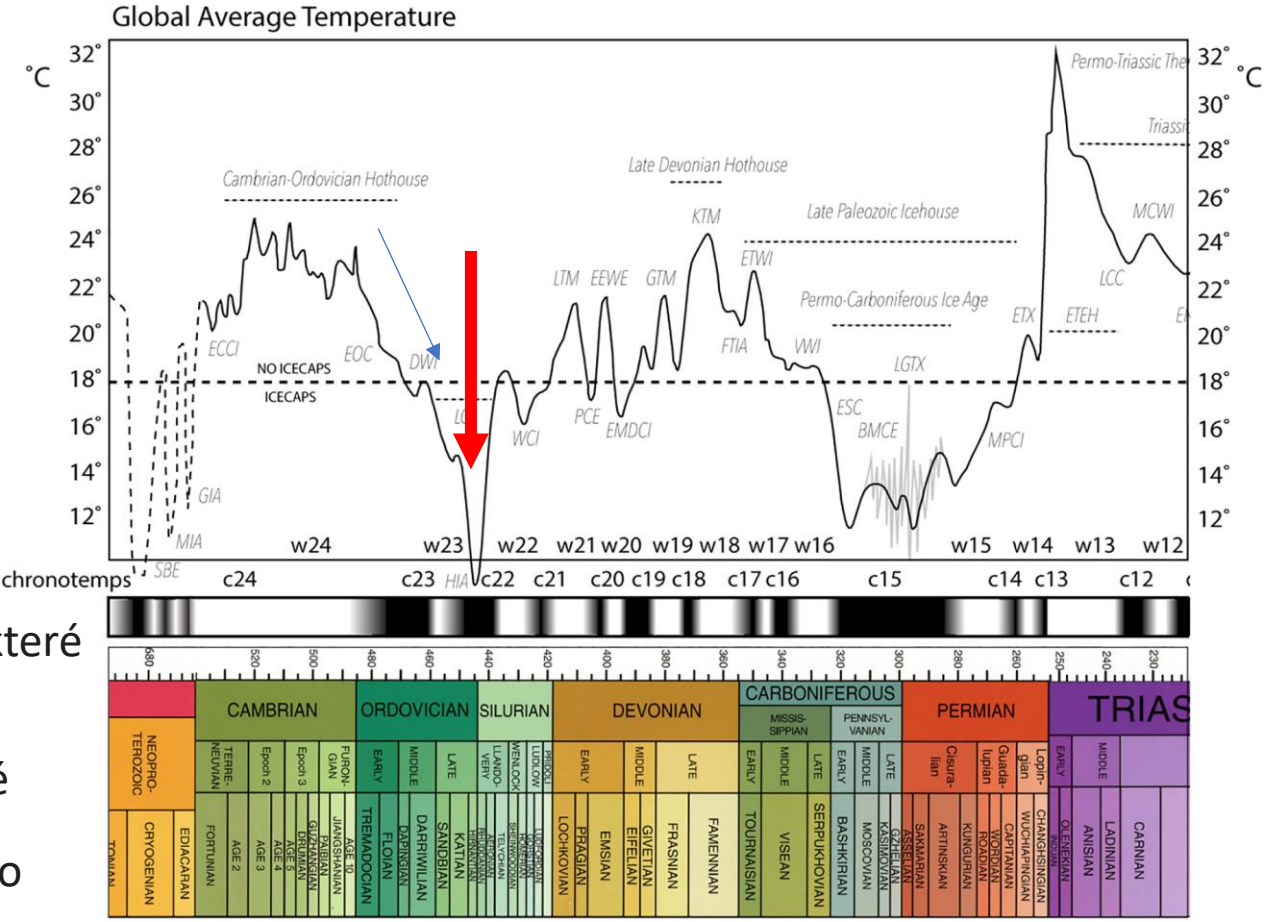
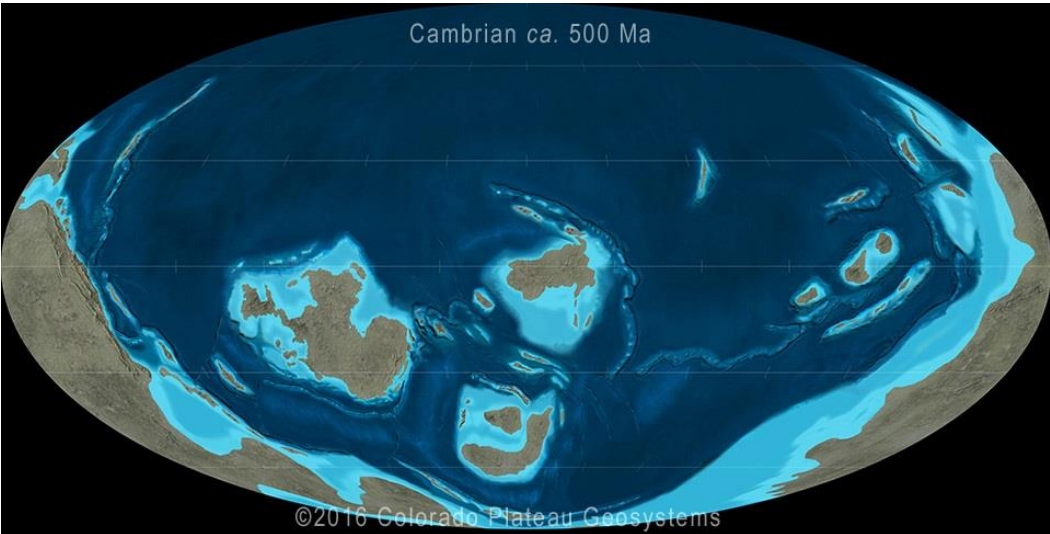


<http://muzeum.geology.cz/d.pl?item=86&l=e&id=XB600&bez=1&FID=&OD=#>

Klima na počátku paleozoika (kambrium a ordovik)

(ordovik – druhé období paleozoika; podle velšského kmene Ordoviciů)

- Období od kambria a počátku ordoviku se vyznačovalo velmi teplým klimatem
- Až do konce ordoviku nejsou známé doklady polárního zalednění (hothouse klimatický režim)
- Rostly hladiny oceánů a zaplavovaly se i vnitřních částí kontinentů
 - mělká moře jsou nejvhodnějším místem pro život a bioproduktivitu



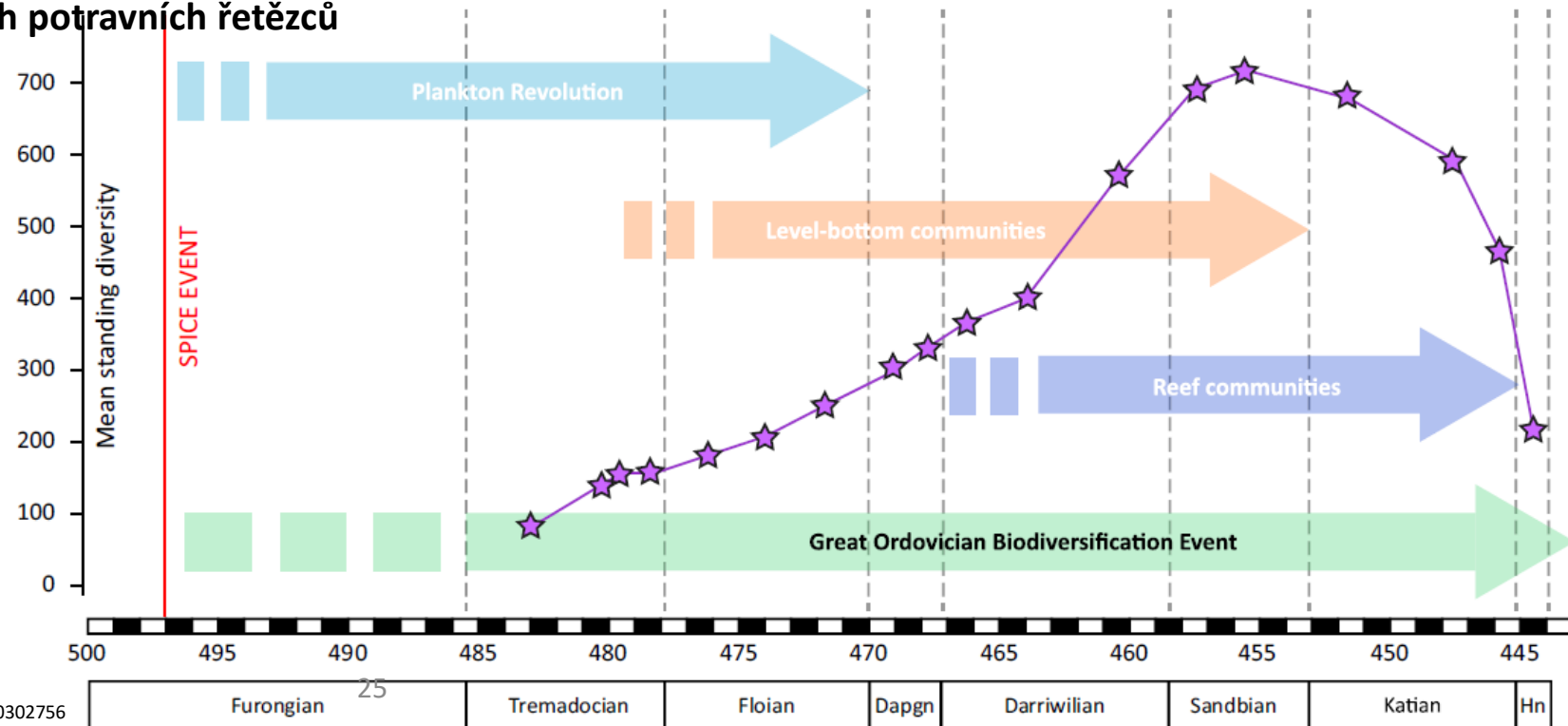
- Postupné ochlazování nastalo během ordoviku
- **Příčiny ochlazování:** klesající atmosférický CO2 z důvodů, které zatím nejsou zcela pochopeny
 - snížená vulkanická aktivita po srážkách kontinentů
 - přesun vyvrásněných pohoří do tropů – výrazné chemické silikátové zvětrávání
 - zvyšování bioproduktivity, biomasy a pohřbívání uhlíku do sedimentů
 - nástup suchozemských rostlin (???)

Velká ordovická biodiverzifikace

- série evolučních událostí, kdy již nevznikaly nové kmeny, ale **enormně vzrostl počet řádů, čeledí, rodů a druhů**
- umožněno značnou rozlohou mělkých moří +
- rostoucí dostupností živin a míry fotosyntézy (přibývání O₂) = **smýčka pozitivní zpětné vazby stimulující růst biomasy**
- **nástup nových planktonních skupin organismů** - mnoho bentických kambrických skupin přechází k planktonické strategii
- **vznik komplexních potravních řetězců**
- zvyšování množství fytoplanktonu vedlo k rozvoji zooplanktonu, který se jím živí
- následně vznikla nová trofická strategie u mnoha skupin bezobratlých: **planktonotrofie** (konzumace fyto- i zooplanktonu dalšími „vyššími“ živočichy)
- **tím byl položen základ moderních mořských potravních řetězců**

Tři fáze velké ordovické diverzifikace:

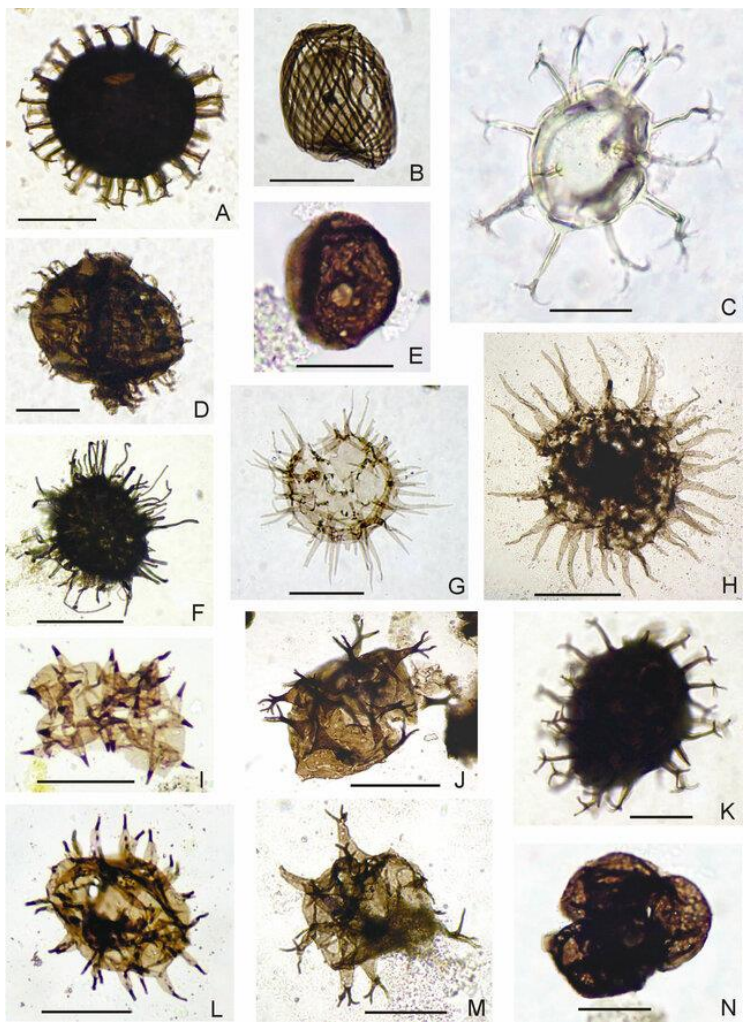
- Revoluce planktonu
- Revoluce bentosu
- Revoluce útesotvorných organismů



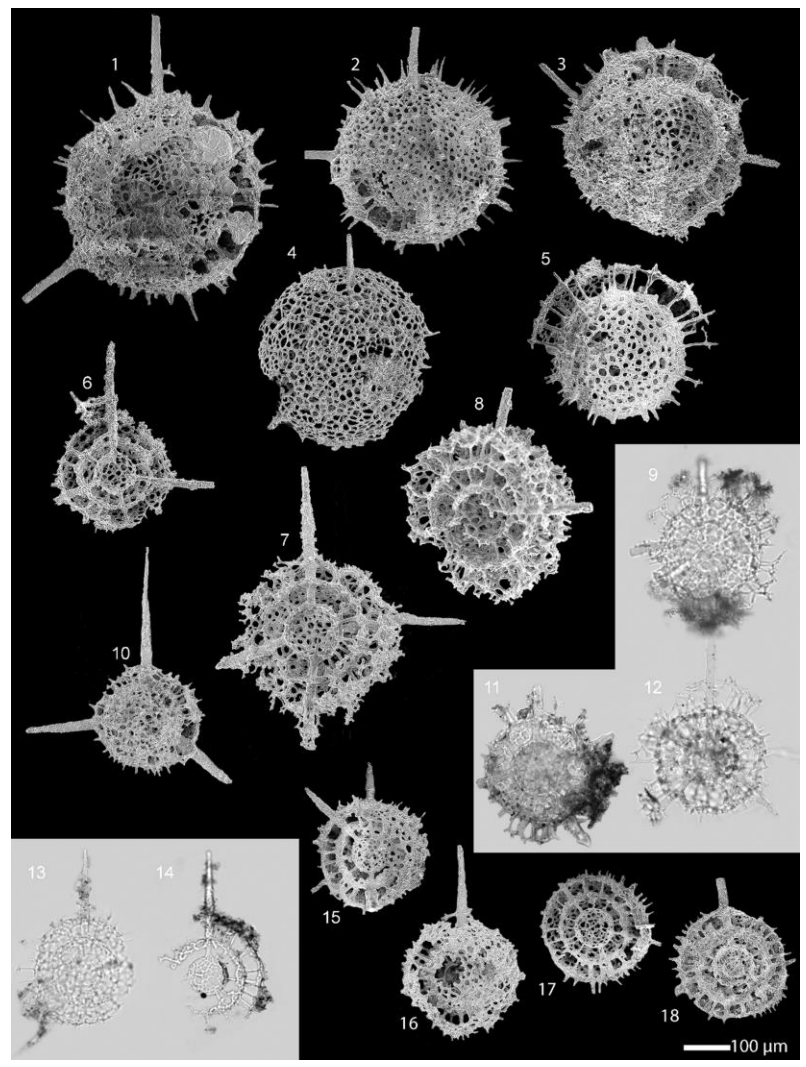
Revoluce planktonu

Mikroplankton

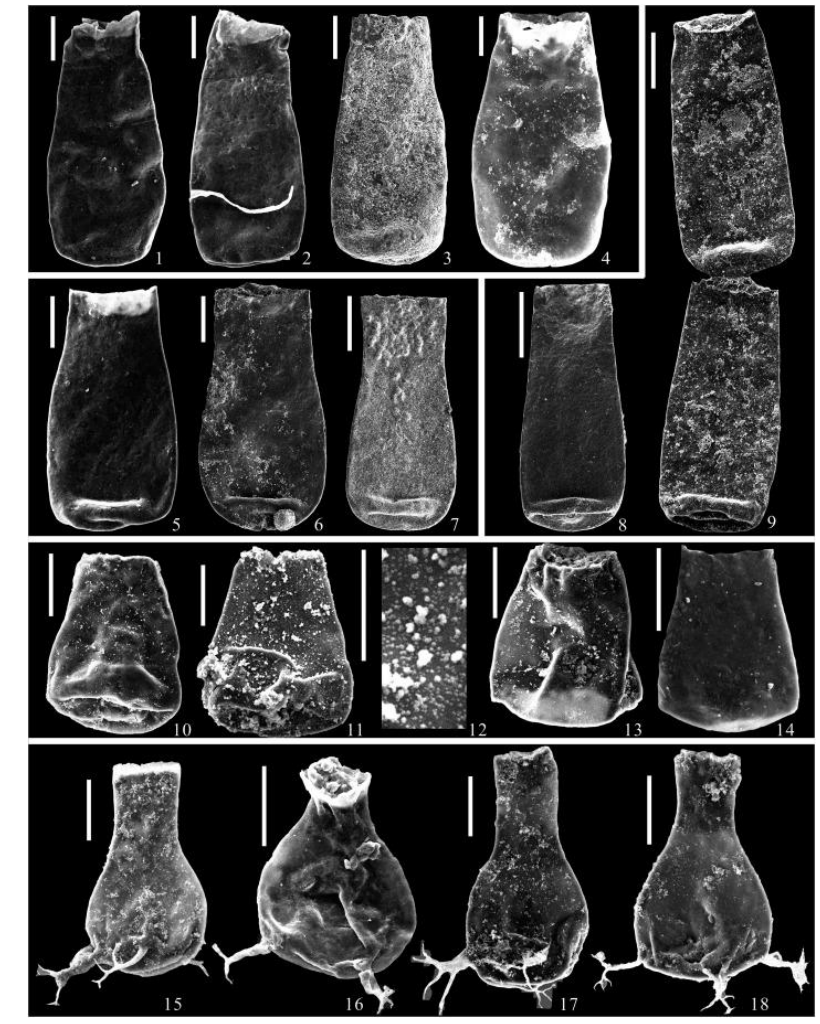
Akritarchy – fosilie tvořené organickou hmotou (kerogenem) – různá eukaryota („řasy“) a jejich cysty (?)



Radiolarie – jednobuněční prvoci, kostry z opálu



Chitinozoa – fosilie tvořené organickou hmotou (chitinózní) – prvoci nebo vajíčka



<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-paleontology/article/microstudy-of-middle-ordevician-spumellaria-radiolarians-from-western-newfoundland-canada/310D95E475C846C6CDD3E8102FA885F>

<https://kirj.ee/earth-publications/?filter%5Byear%5D=2014&filter%5Bissue%5D=251&filter%5Bpublication%5D=1895&v=928568b84963>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034666721000488>

Revoluce planktonu

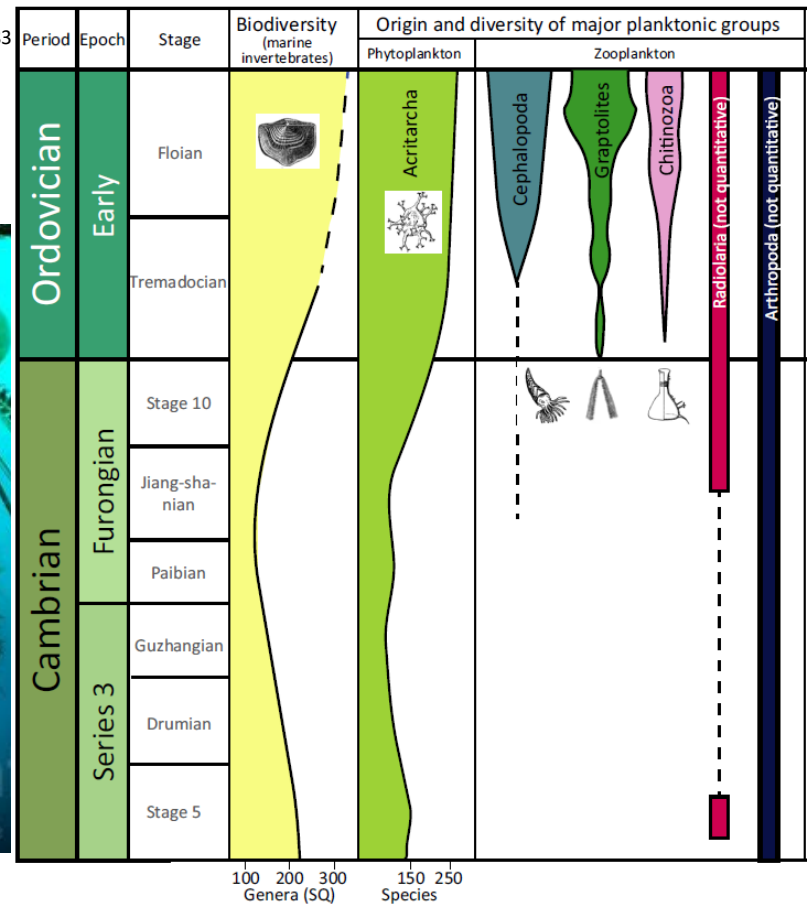
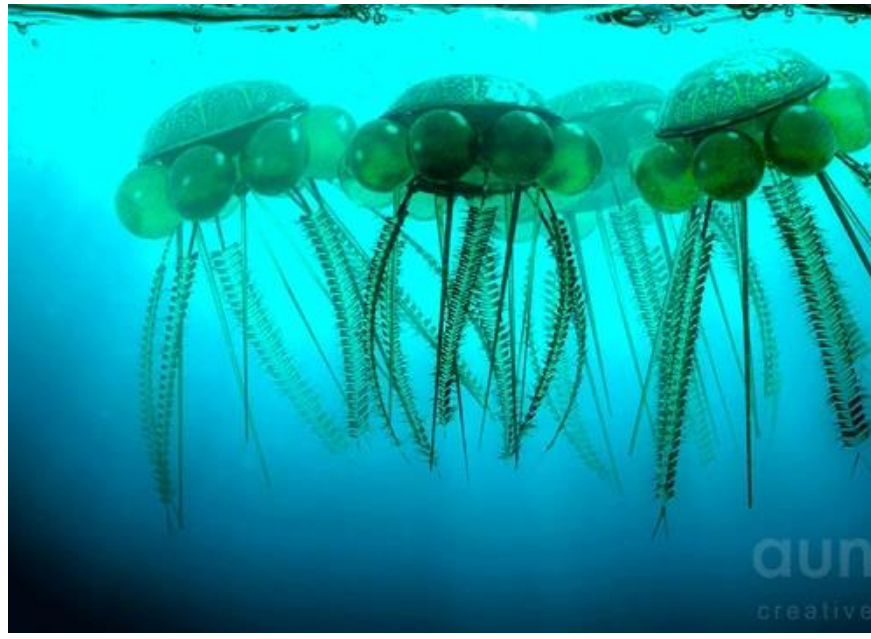
Makroplankton

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018215006410#bb083>

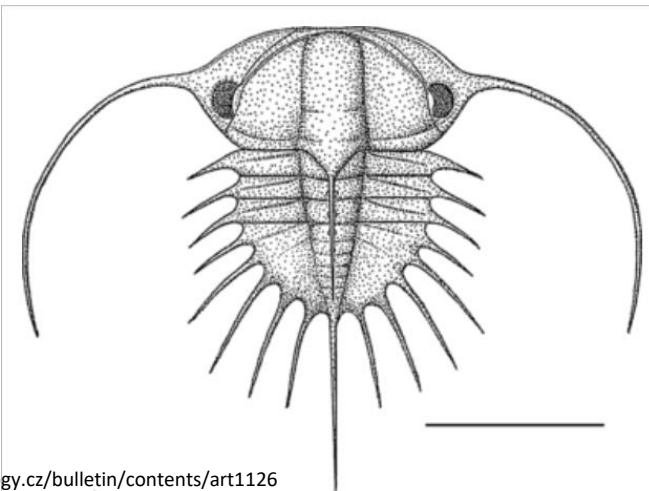
Planktoničtí polostrunatci graptoliti



<https://www.thefossilforum.com/gallery/image/13193-monograptus-sp/>

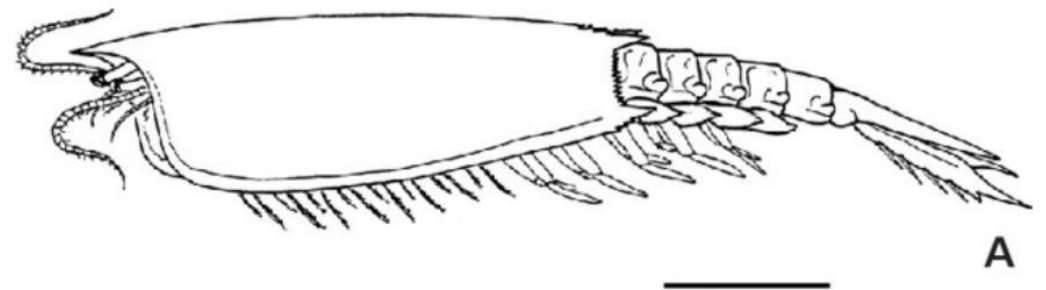


Planktonický členovec trilobit *Ctenopyge ceciliae*



<http://www.geology.cz/bulletin/contents/art1126>

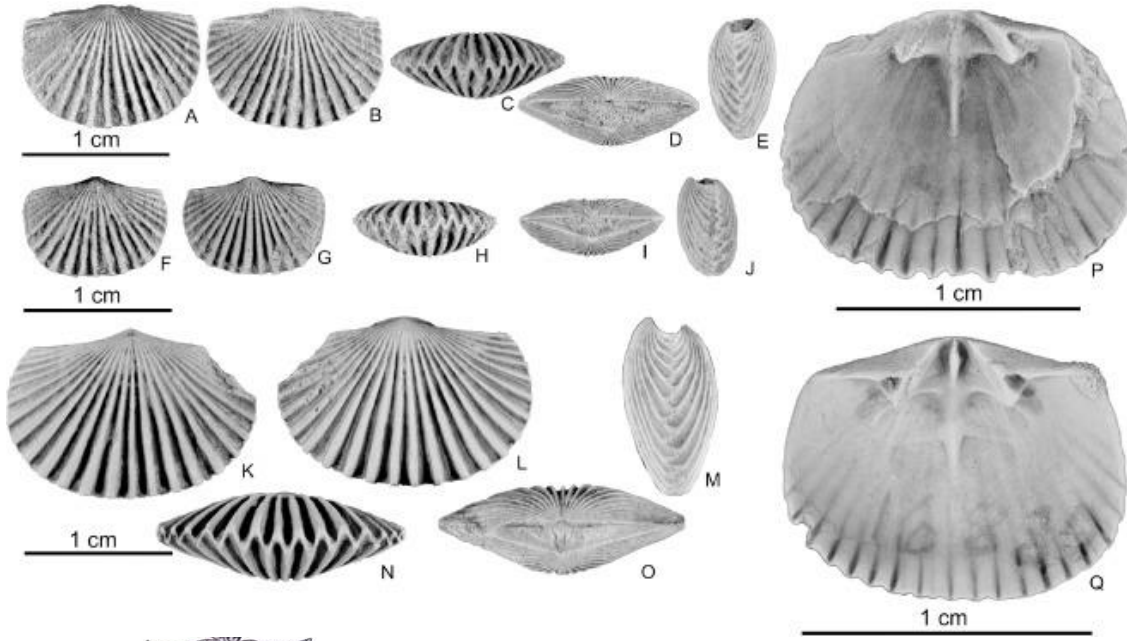
Planktonický členovec fylokaridní korýš



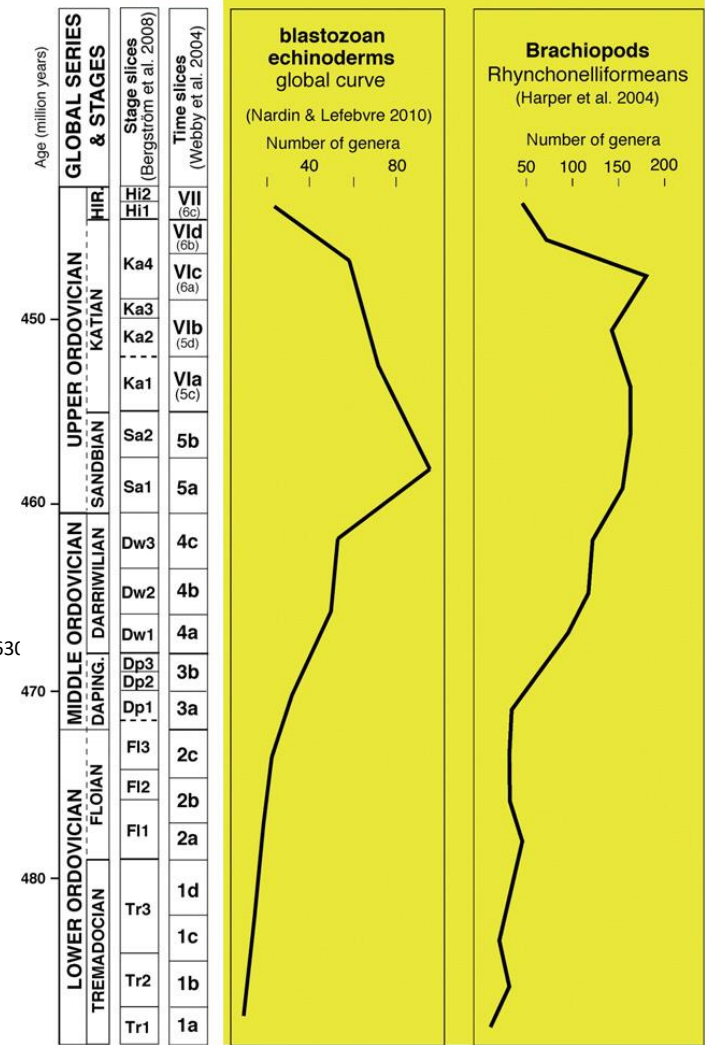
<https://www.thefossilforum.com/gallery/image/13193-monograptus-sp/>

Revoluce bentosu

ramenonožci



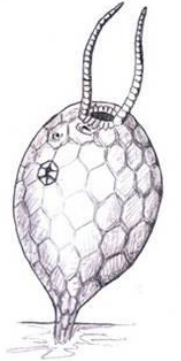
sessile benthic suspension feeders



ostnokožci



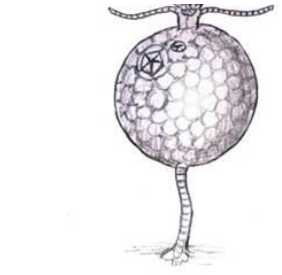
Ordovician Crinoid



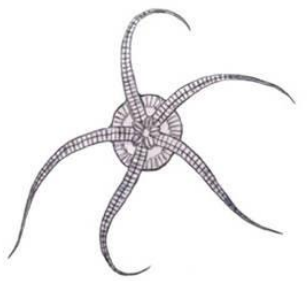
Aristocystites bohemicus



Ordovician Starfish



Echinospaerites aurantium



Ordovician Brittle Star

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871174X1630>

Servais et al. 2010 (Modified)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S31018210003184?via%3Dihub>

Revoluce bentosu

- Členovci trilobiti, ostrakodi, klepátkatci a další skupiny

trilobiti

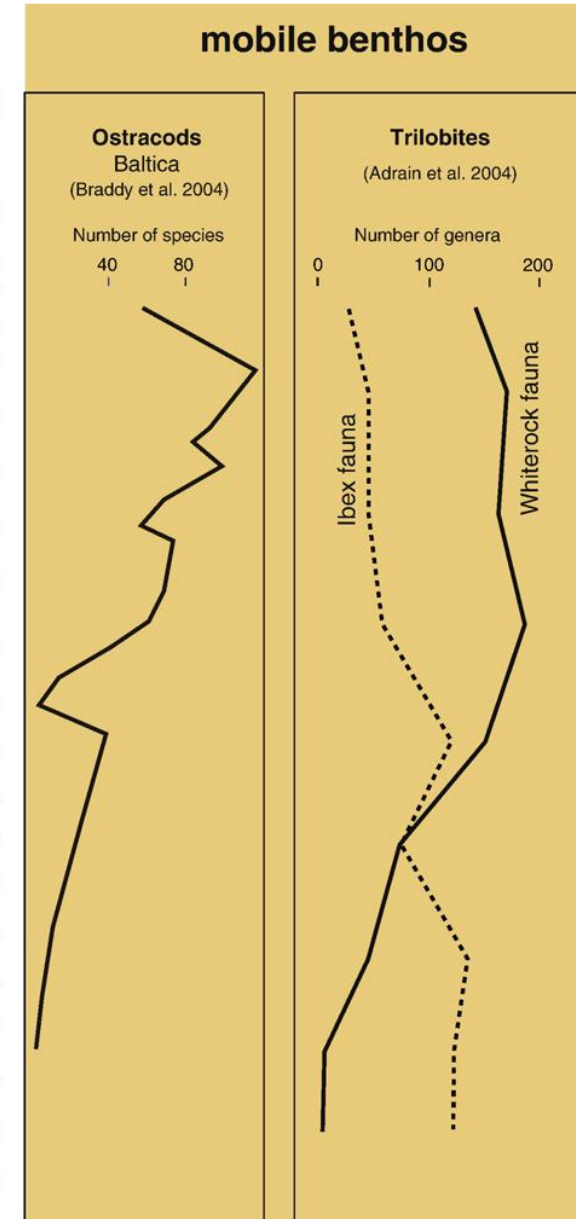
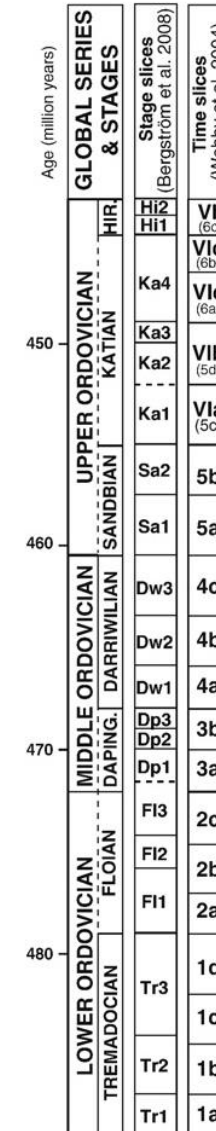


<https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id228012/?taxonid=458738&type=1>



<http://www.fossilmall.com/fossils/mt18131/selenopeltis-buchii-trilobite.htm>

Servais et al. 2010 (Modified)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018210003184?via%3Dihub>

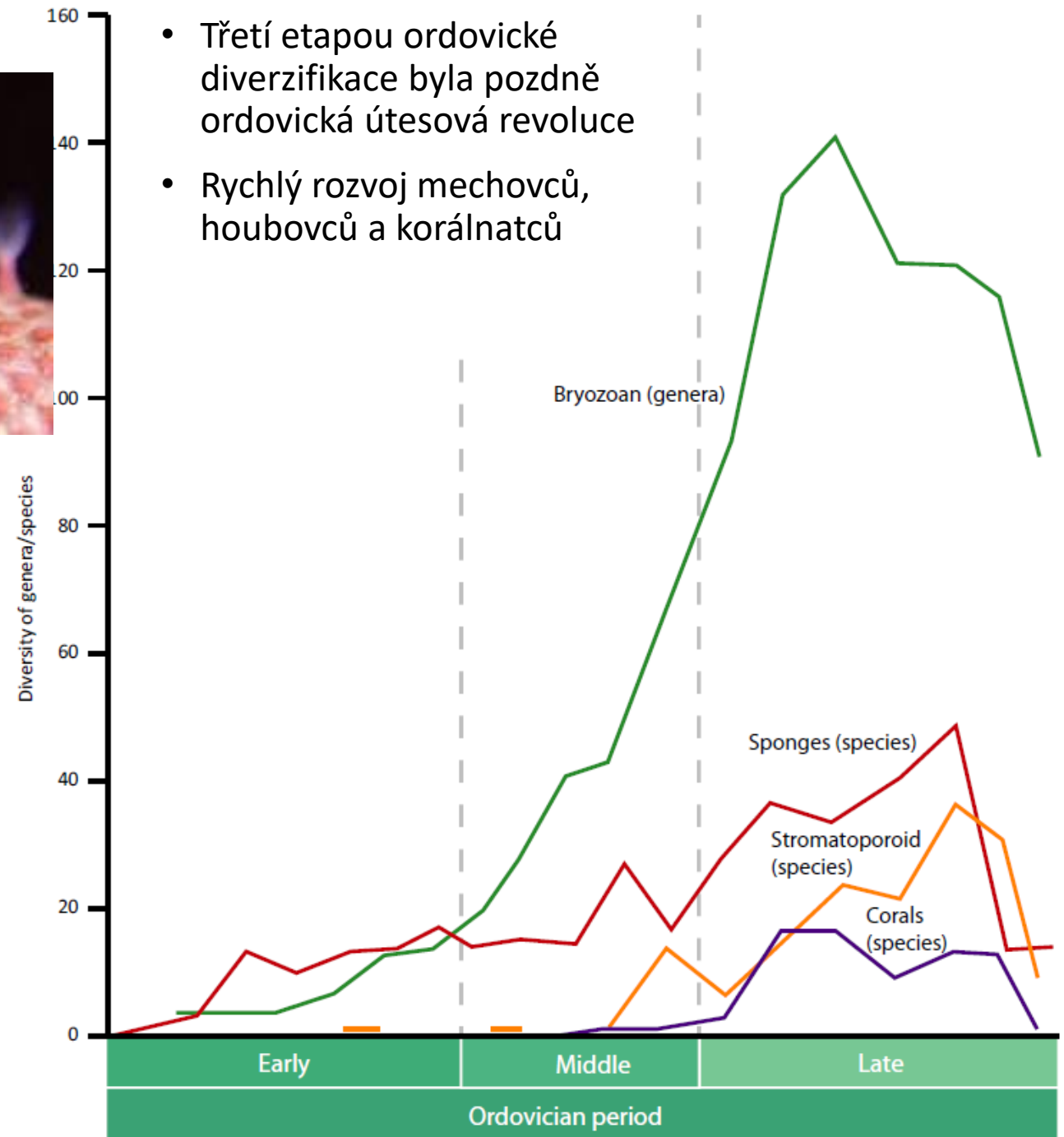
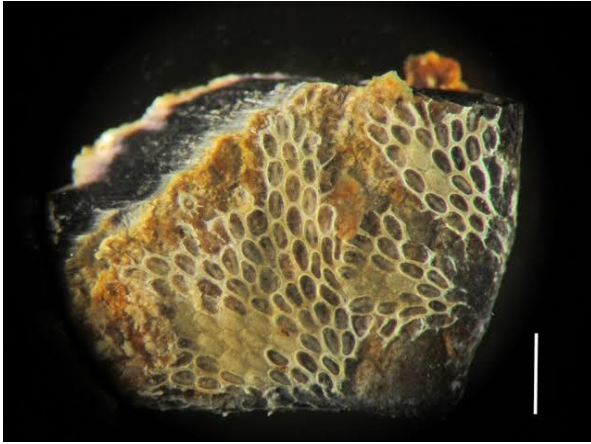




Rozvoj aktivně plovoucích živočichů –
nektonu
– měkkýšů **loděnkovitých hlavonožců**
- prastarých skupin rybovitých
obratlovců – bezčelistnaté ryby,
konodonti

- Členovci klepítkatci („mořští
škorpióni“)

Útesová revoluce

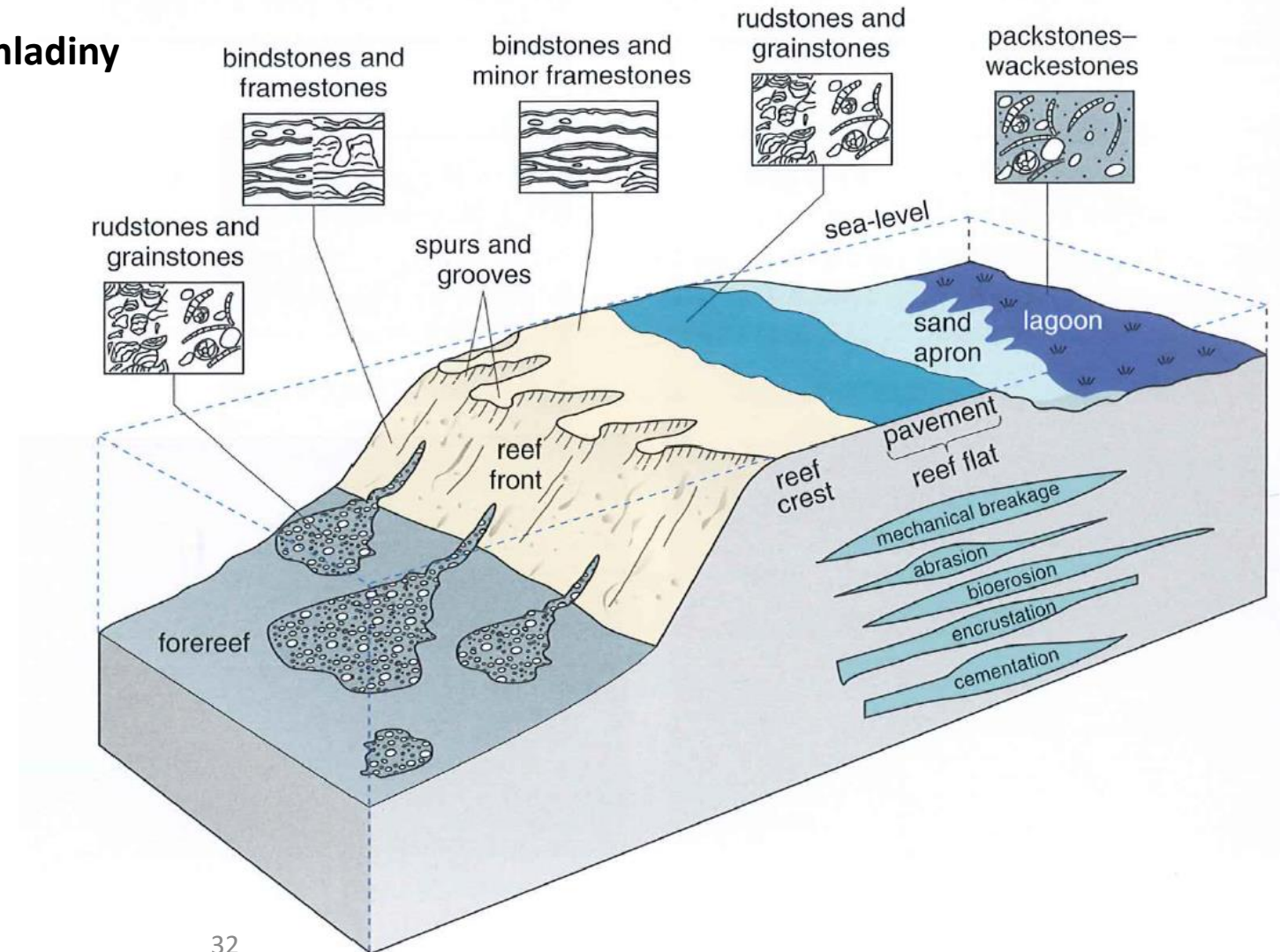


- Třetí etapou ordovické diverzifikace byla pozdně ordovická útesová revoluce
- Rychlý rozvoj mechovců, houbovců a korálnatců

Organický útes

- Organický útes je geomorfologicky výrazná struktura mořského dna, která vzniká nárůstem sesilních bentických organismů s pevnými (nejběžněji karbonátovými - kalcitovými a aragonitovými) kostrami a schránkami

- V mělkých teplých mořích, blízko mořské hladiny**



Organický útes

- Mělkomořské útesy jsou tvořené organizmy,
 - které jsou fotoautotrofní nebo mají fotoautotrofního symbionta
 - jsou schopné odolávat vlnobití a vytvářejí pevnou konstrukci útesu
- **Útesotvorné organizmy vytvářejí ekosystém s velmi rozsáhlým ekologickým prostorem**
- Tento ekosystém buduje příznivé podmínky sám pro sebe

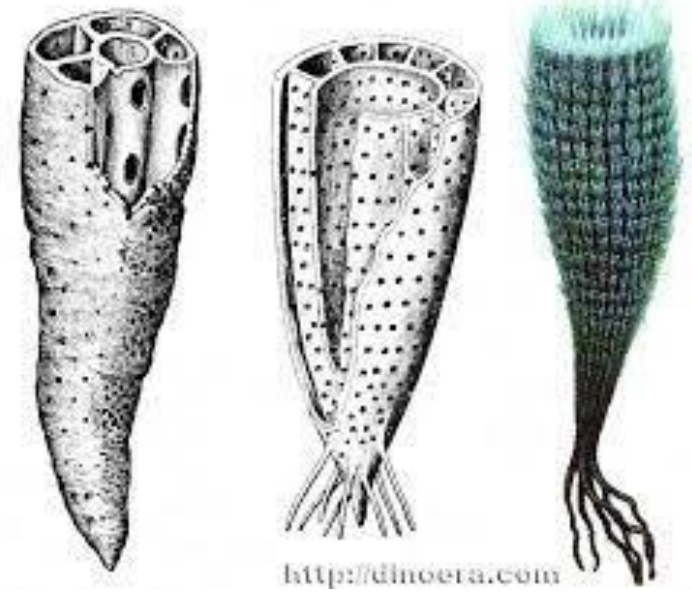
Evoluce organických útesů

Archaikum až proterozoikum
– mikrobi (stromatolity)

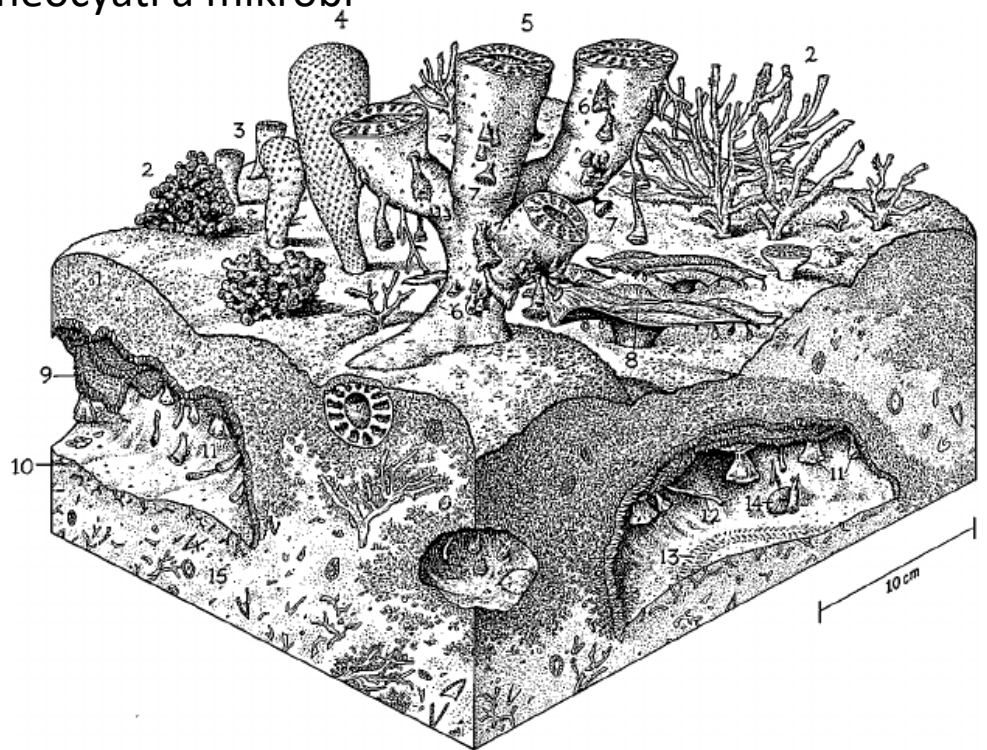


<https://phys.org/news/2021-02-stromatolitesfossils-earliest-life-earthmay-viruses.html>

Rané kambrium – houbovci archeocyāti a mikrobi



<http://dinoera.com>



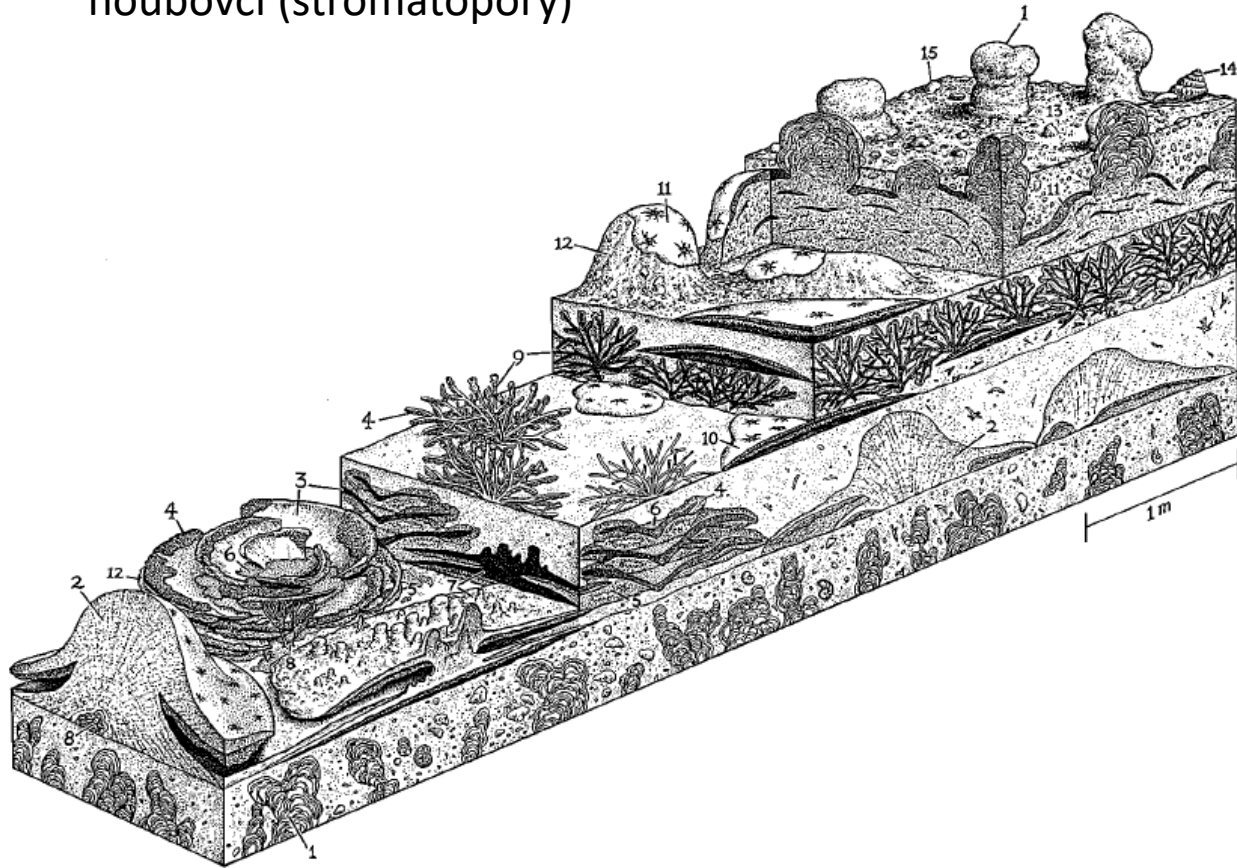
<http://www.jsjgeology.net/Hicks-n-Rowland-talk.htm>

<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.179>

<https://suvratk.blogspot.com/2020/06/infographic-reefs-through-geologic.html>

Evoluce organických útesů

Ordovik-devon – korálnatci, řasy, houbovci (stromatopory)



<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.179>

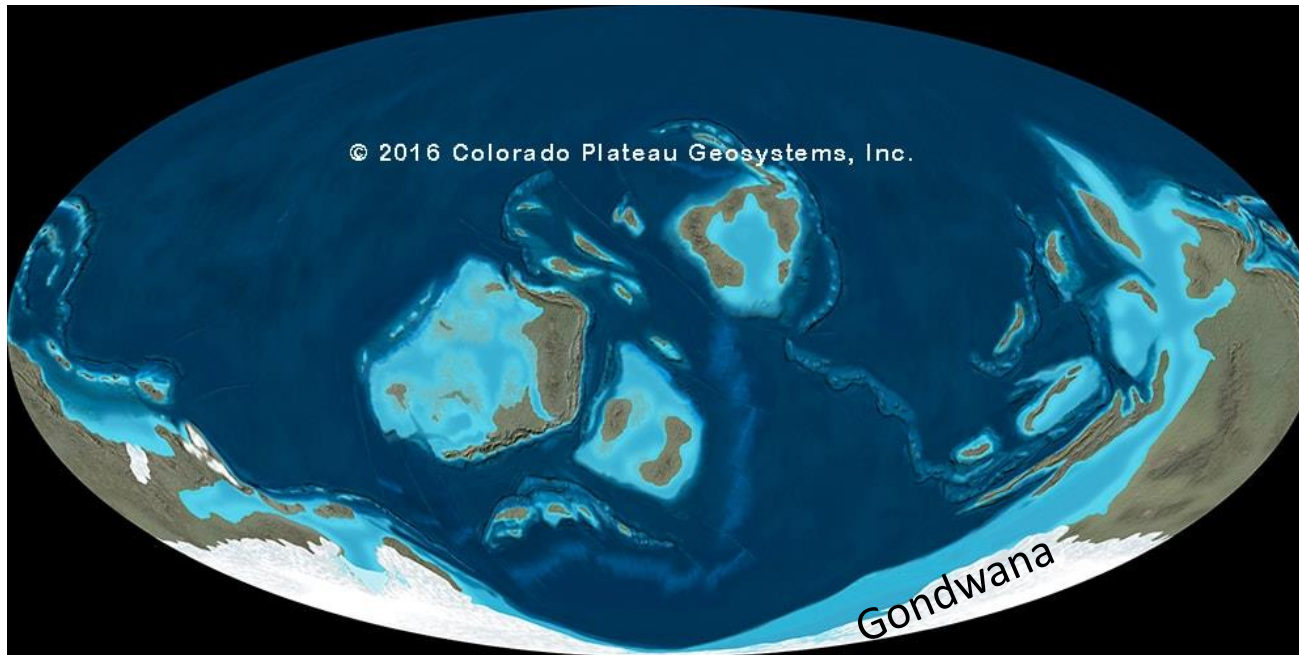


3

<https://www.sciencephoto.com/media/631685/view/trilobites-of-the-early-devonian-artwork>

Vymírání na konci ordoviku

- Velmi rychlé a rázné ochlazení na konci ordoviku, růst ledovce na jižním pólu (paleokontinent Gondwana; ze sanskrtu – lesy Gondů - region ve střední Indii)
- **Hirnantská glaciace**



https://deeptimemaps.com/wp-content/uploads/2021/02/paleozoic-13-450-Ma-Moll_Ord_GPT-min-1.jpg

- se zaledněním je spojené **hirnantské hromadné vymírání**
- dvě fáze vymírání - *rychlé ochlazení a rychlé oteplení*

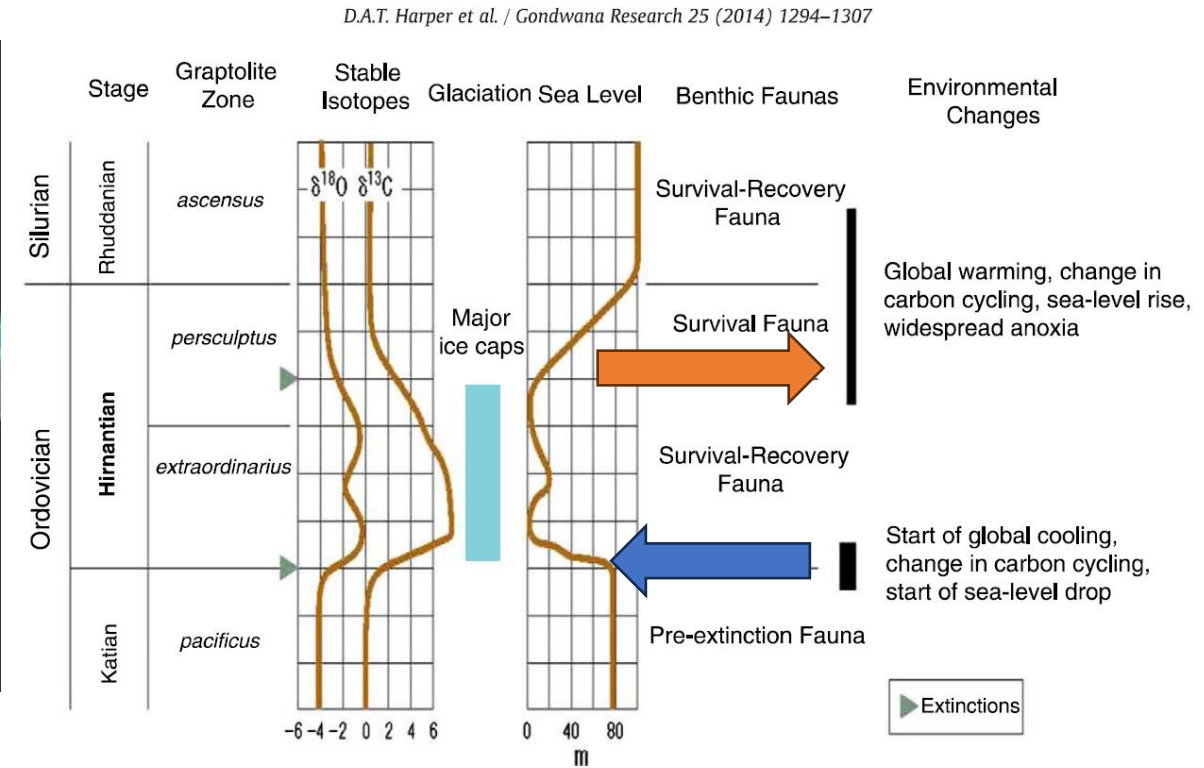
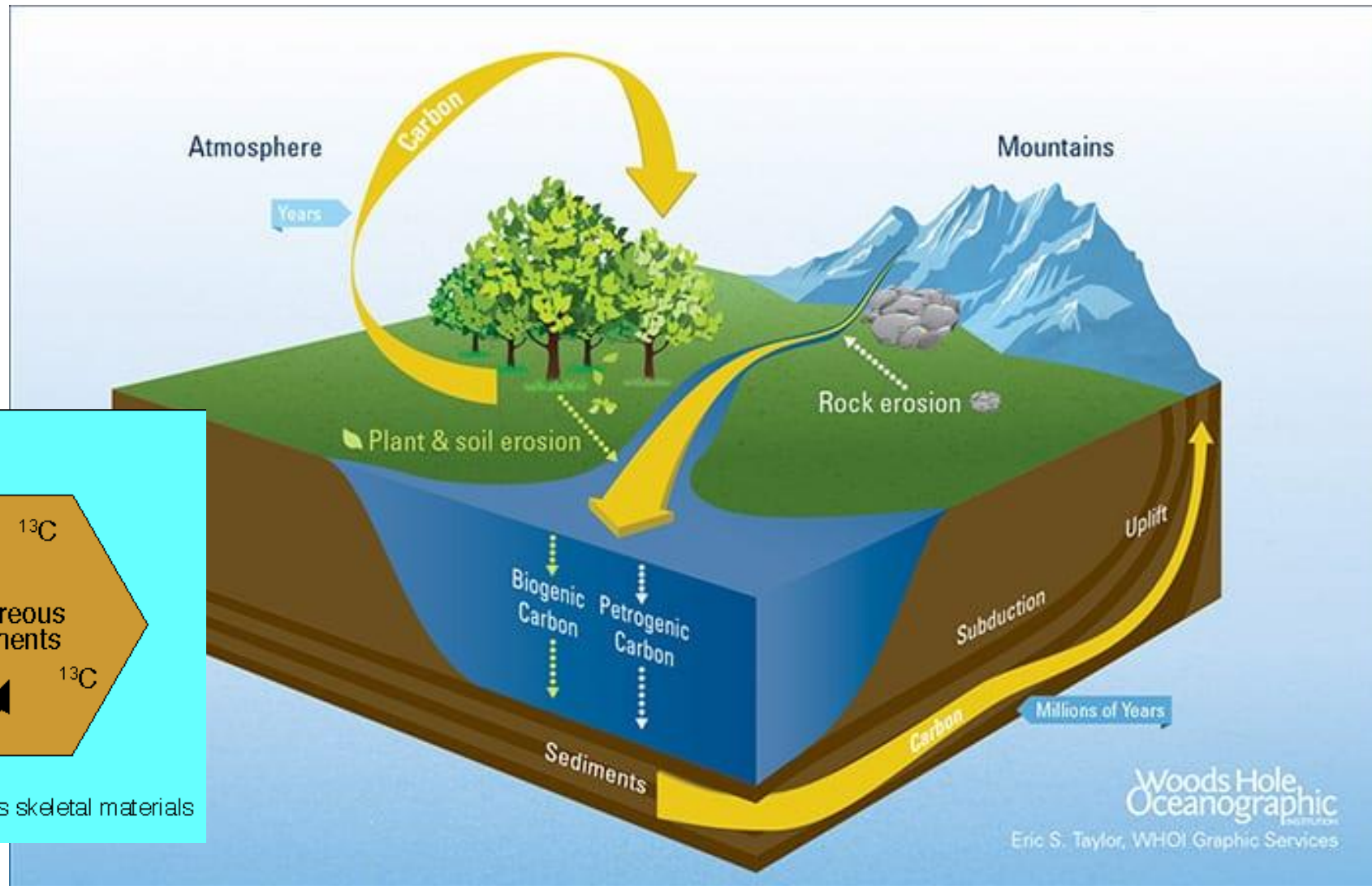
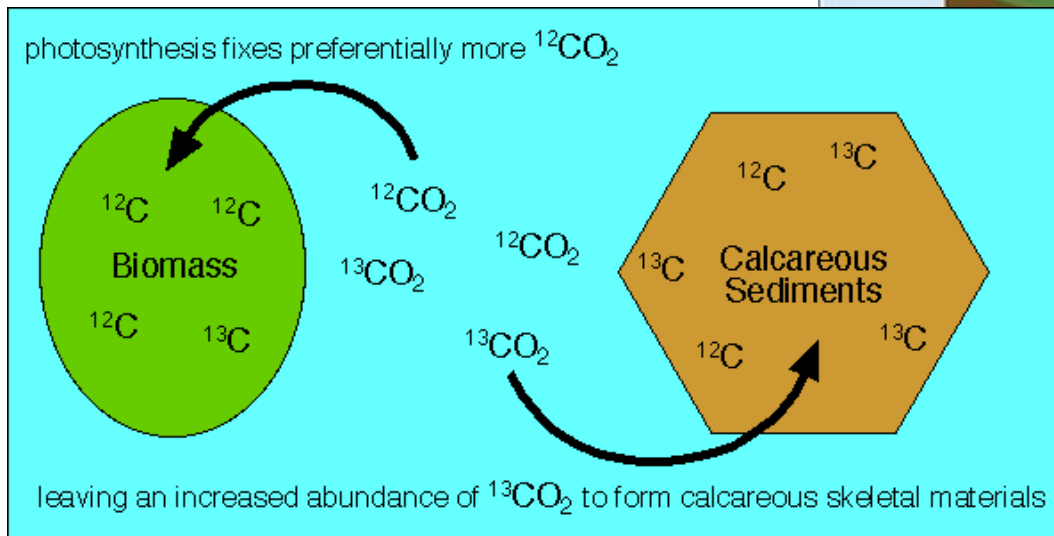


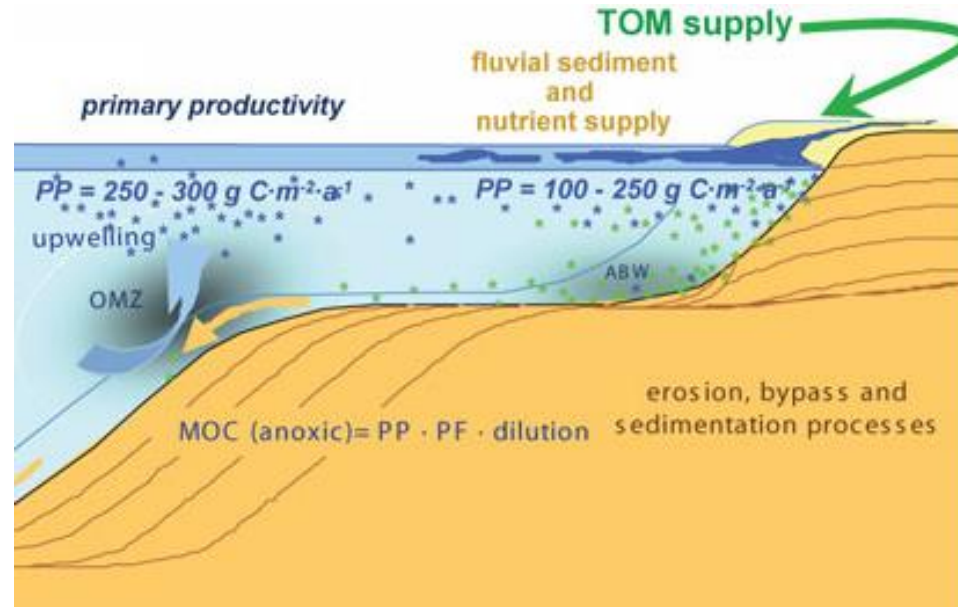
Fig. 2. Stratigraphical window and biotic and environmental events through the Ordovician–Silurian boundary. (After Brenchley et al., 2006).

Změny poměrů stabilních izotopů uhlíku

- dva stabilní izotopy uhlíku: ^{12}C – „lehký organický“ (tvoří 98,89% objemu C), a ^{13}C – „těžký karbonátový“ (zbývajících 1,11%).
- cyklus uhlíku je jedním z nejvýznamnějších geochemických cyklů
- spojen s oceánografickými, geologickými, atmosférickými a biologickými cykly a procesy



- **$\delta^{13}\text{C}$** = poměr lehkého organického (^{12}C) a těžkého anorganického (^{13}C) uhlíku v oceánech, atmosféře je ovlivňován rychlostí pohřbívání organického uhlíku do sedimentu a jeho uvolňováním

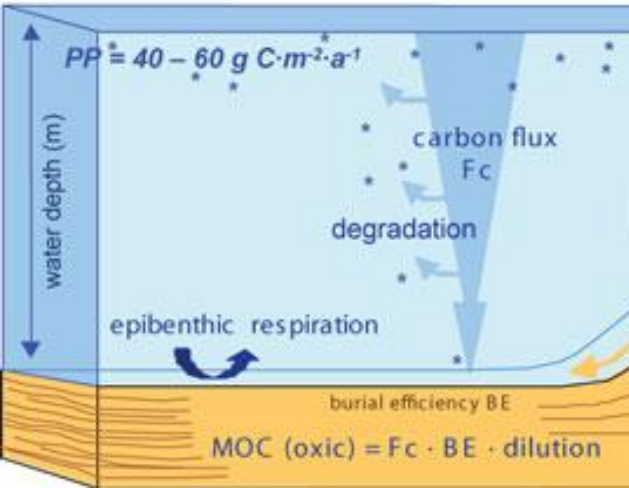


Pohřbívání OM (^{12}C)

OMZ (Oxygen Minimum Zone)
Vysoká bioproduktivita



Uvolnění ^{12}C (metan - vulkanizmus, hydrotermy, uvolnění hydrátů metanu, tání permafrostu)



„normální“ bioproduktivita a remineralizace (degradace)

OM (organic matter) v oxickém prostředí

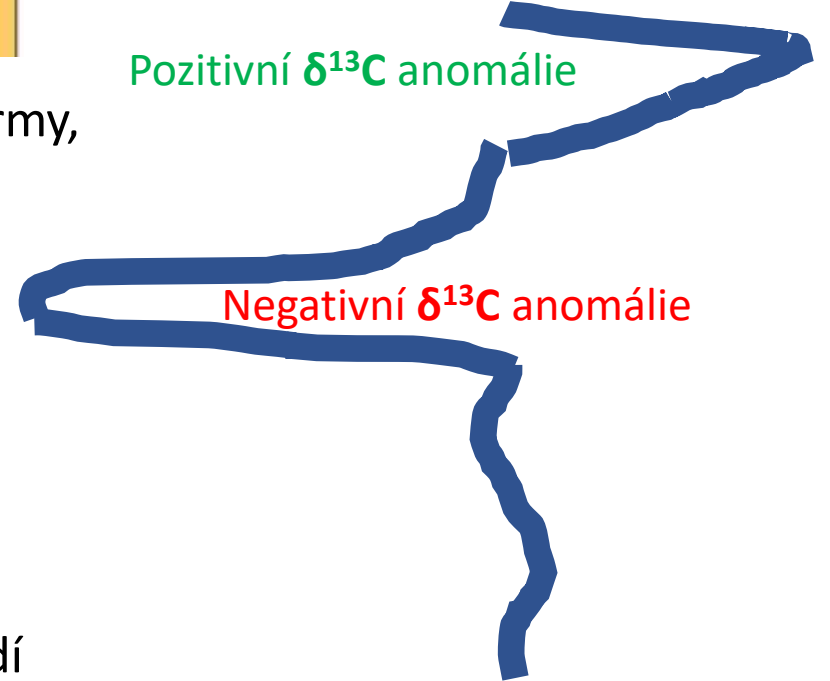
$^{12}\text{C} / ^{13}\text{C}$

$\delta^{13}\text{C}$

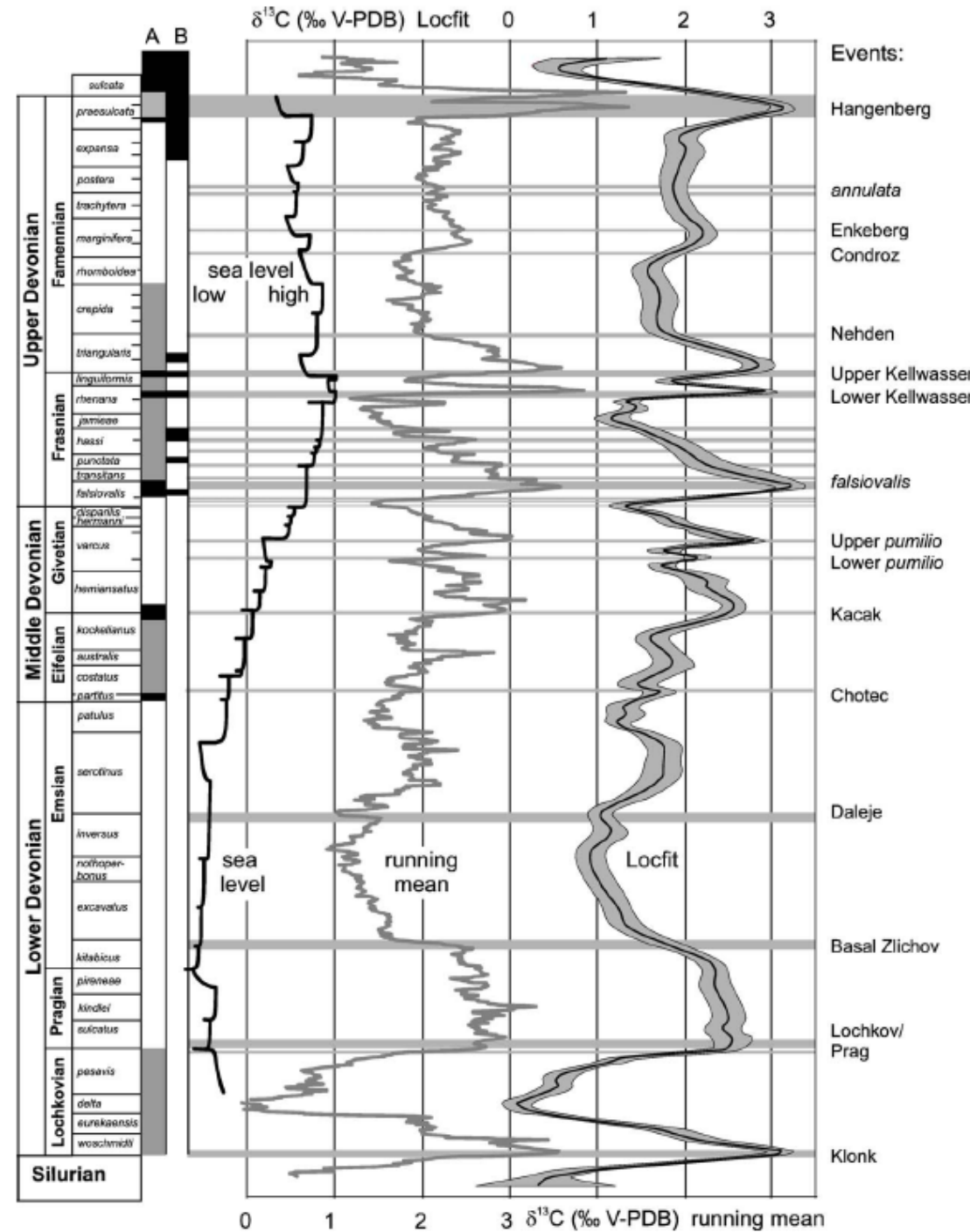
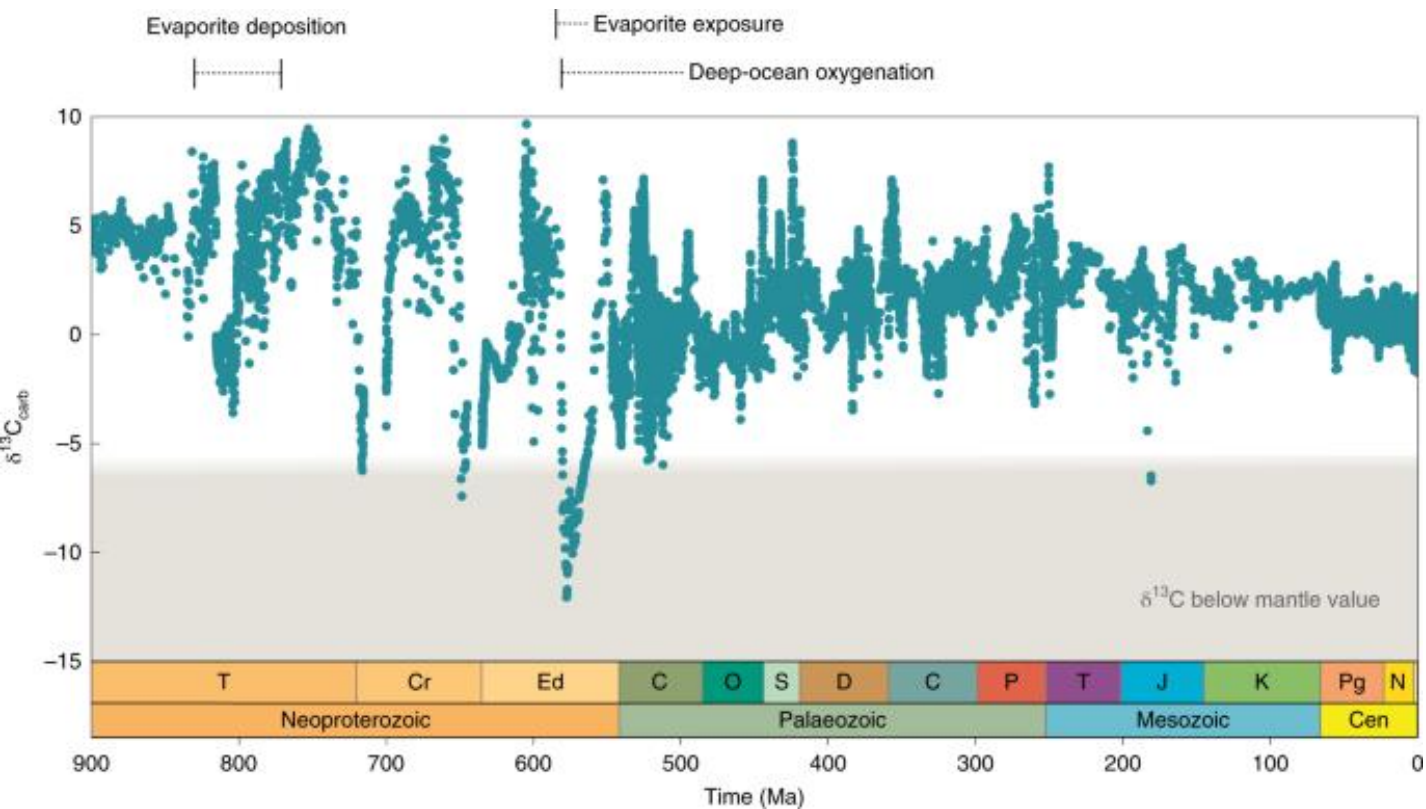
- +

Pozitivní $\delta^{13}\text{C}$ anomálie

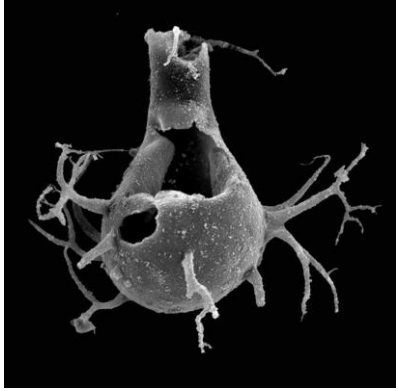
Negativní $\delta^{13}\text{C}$ anomálie



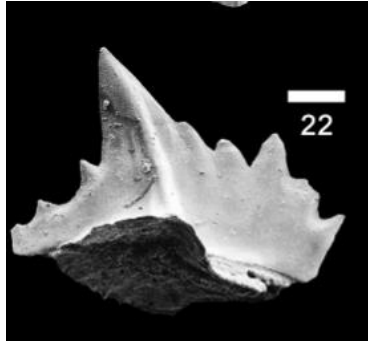
- Změny $\delta^{13}\text{C}$ v čase zaznamenané v křivkách
- Korelace trendů křivek
- Významné jsou anomálie (výrazné pozitivní/negativní odchylky) spojené z výraznými změnami uhlíkového cyklu (často je spojeno s hromadným vymíráním atd.)



Vymřelo 45 – 60% mořských rodů a 85 % mořských druhů.



https://fossilid.info/34?mode=in_baltoscandia

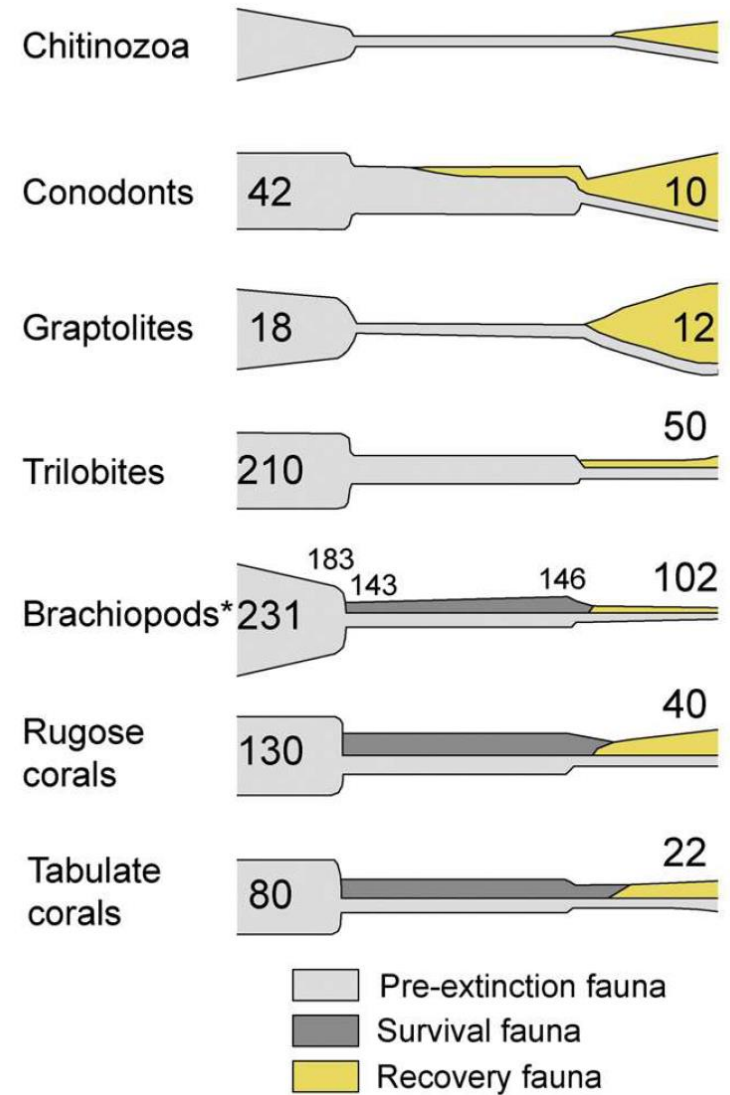


<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-paleontology/article/katian-late-ordevician-conodonts-on-the-northwestern-margin-of-the-north-china-craton/6DA2A8B288415E45684C29512CE50F2A>

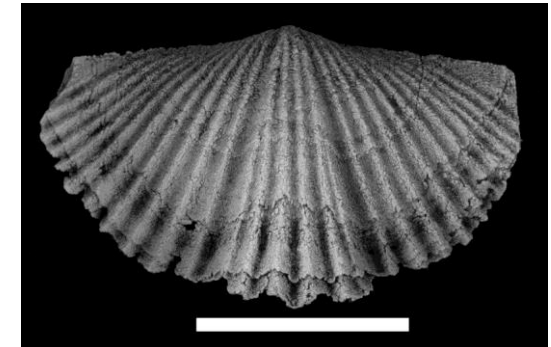


<https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/fossils-and-geological-time/graptolites/>

Ordovician		
Katian	Hirnantian	
<i>pacificus</i>	<i>extraordinarius</i>	<i>persculptus</i>



<https://www.flickr.com/photos/86624586@N00/43243889>



<https://samnoblemuseum.ou.edu/common-fossils-of-oklahoma/gallery/ordovician-fossil-gallery/ordovician-brachiopods-gallery/>



Fig. 3. Biotic change through the crisis intervals. *Note also these data indicate the generic loss in brachiopods that appears to have been initiated already within the *pacificus* Biozone. (After Brenchley et al., 2001 with modified brachiopod data from Rasmussen and Harper, 2011a).

- Před nástupem zalednění byly oceány výrazně **stratifikované** (oddělená svrchní prokysličená a hluboká, živinami bohatá, oceánská vodní masa)
- **Růst ledovců vyvolal pád hladiny oceánů – zánik mělkých moří**, které byly životním prostorem pro rozvinutou ordovickou biotu
- Chladné vody ze zaledněné Gondwany způsobily zrychlení oceánské cirkulace - chladné prokysličené vody klesaly kolem pólů do hlubokých částí oceánů a vyháněly na šelfy vody plné živin a toxických látek, ale chudé na kyslík z hlubokých oceánů
 - nárůst bioproduktivity = další úbytek prokysličení (rozklad organiky)
 - **globální anoxie** (vody bez kyslíku) - dopad na bentická i planktonická společenstva

První fáze vymírání

- Endemická komplexní společenstva teplých moří vymřela a byla nahrazena chladnomilným kosmopolitním společenstvem - hirnantská fauna
- glaciace byla krátká; cca 500 ka – její rychlý nástup a konec nedal možnost biotě se evolučně přizpůsobit

Druhá fáze

- po konci glaciace hladina oceánů rychle rostla, teplota rostla a cirkulace oceánu se zpomalila, což vedlo k dalšímu vymíracímu pulzu

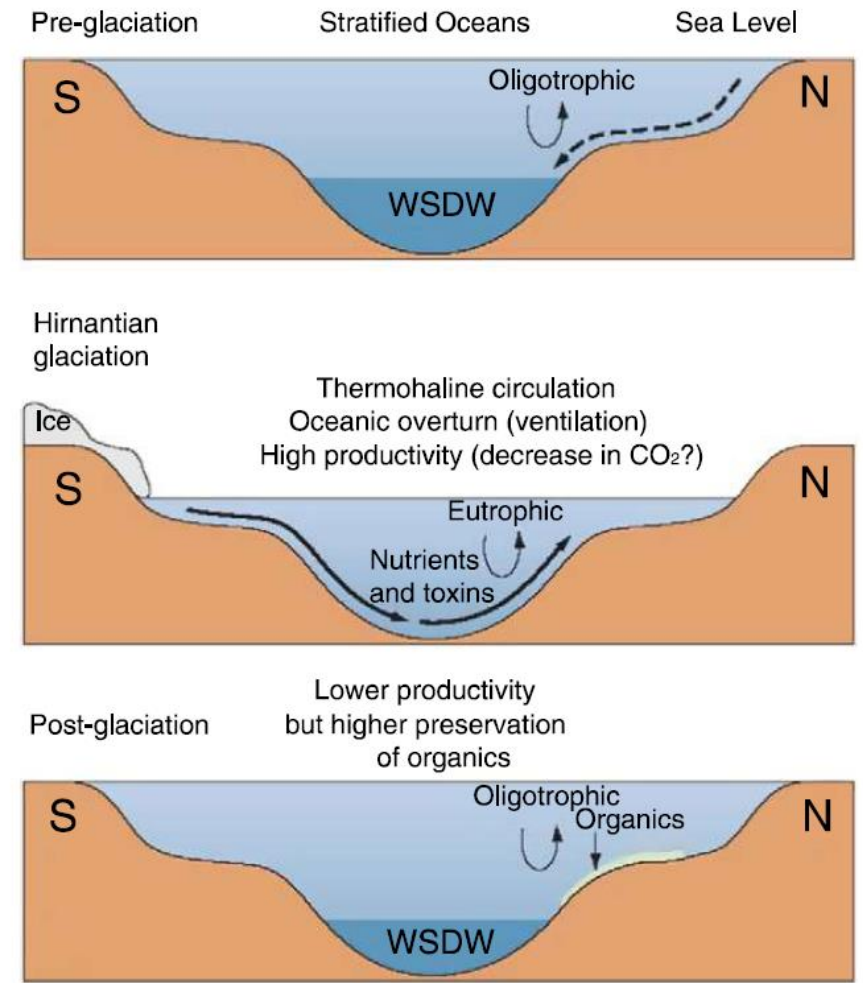
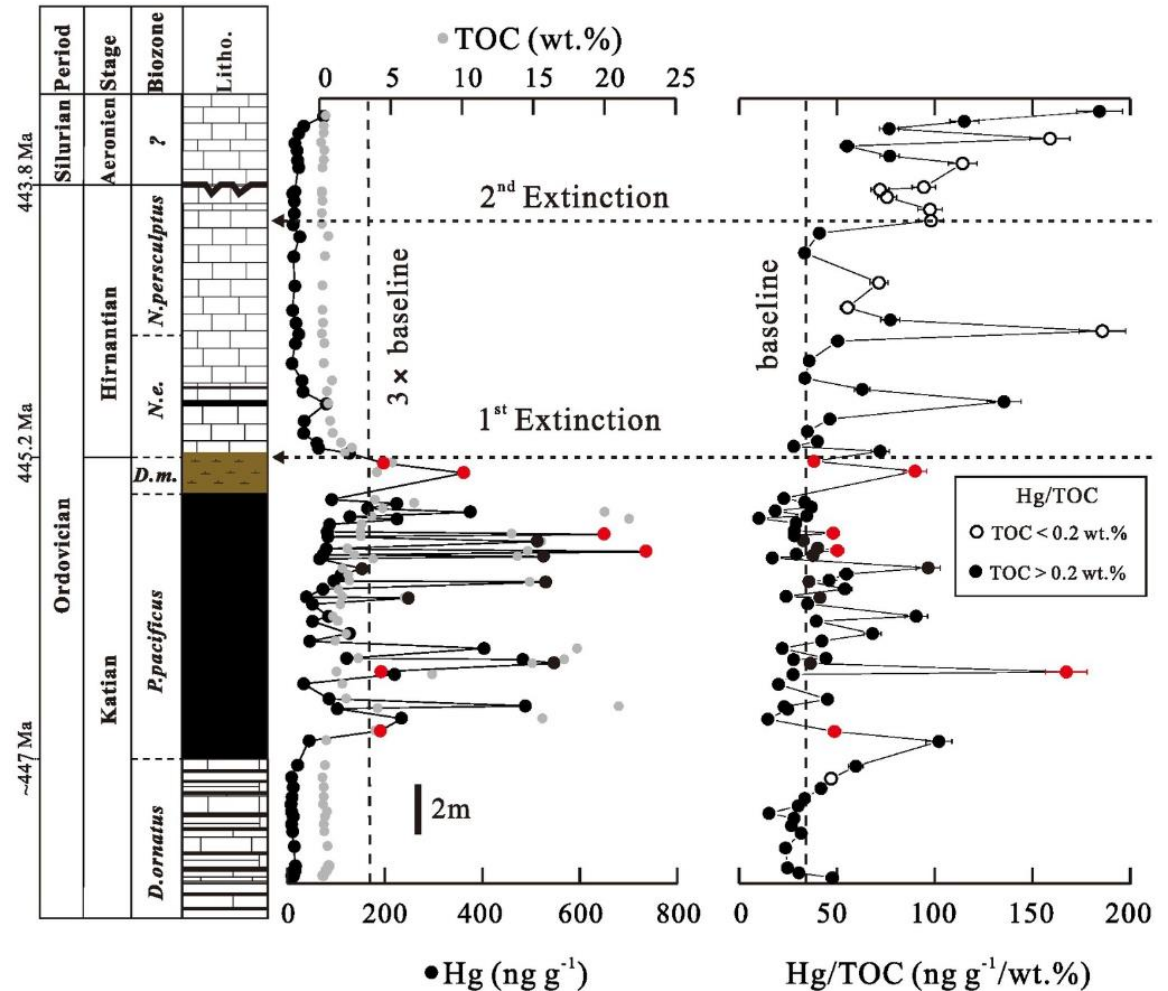


Fig. 7. Illustration of differences in oceanic circulation and productivity between glacial and nonglacial phases. Pre- and post-Hirnantian oceans shown with sluggish circulation and warm, saline waters at depth derived from low-latitude evaporation. Hirnantian characterized by strong thermohaline circulation that initiated the change from oligotrophic to eutrophic oceans. (After Brenchley et al., 1995).

- spouštěčem byl pravděpodobně rozsáhlý magmatismus na konci ordoviku, spojený s dlouhodobým trendem ochlazování
- doposud nejsou známe přímé doklady pro intenzivní magmatickou aktivitu ve velké magmatické provincii
- existují pouze nepřímé geochemické doklady – proxy aktivity velkých magmatických provincií jako např. **rtuťové anomálie**



Vznik anoxie oceánů

Zvýšení dostupnosti živin v prosvětlené vrstvě oceánu

- 1) splach živin z kontinentu
 - může zesílit při zalednění, kdy se s klesající hladinou obnažuje a zvětrává více pevniny
- 2) vulkanická aktivita
- 3) výstup hlubokých oceánských vod

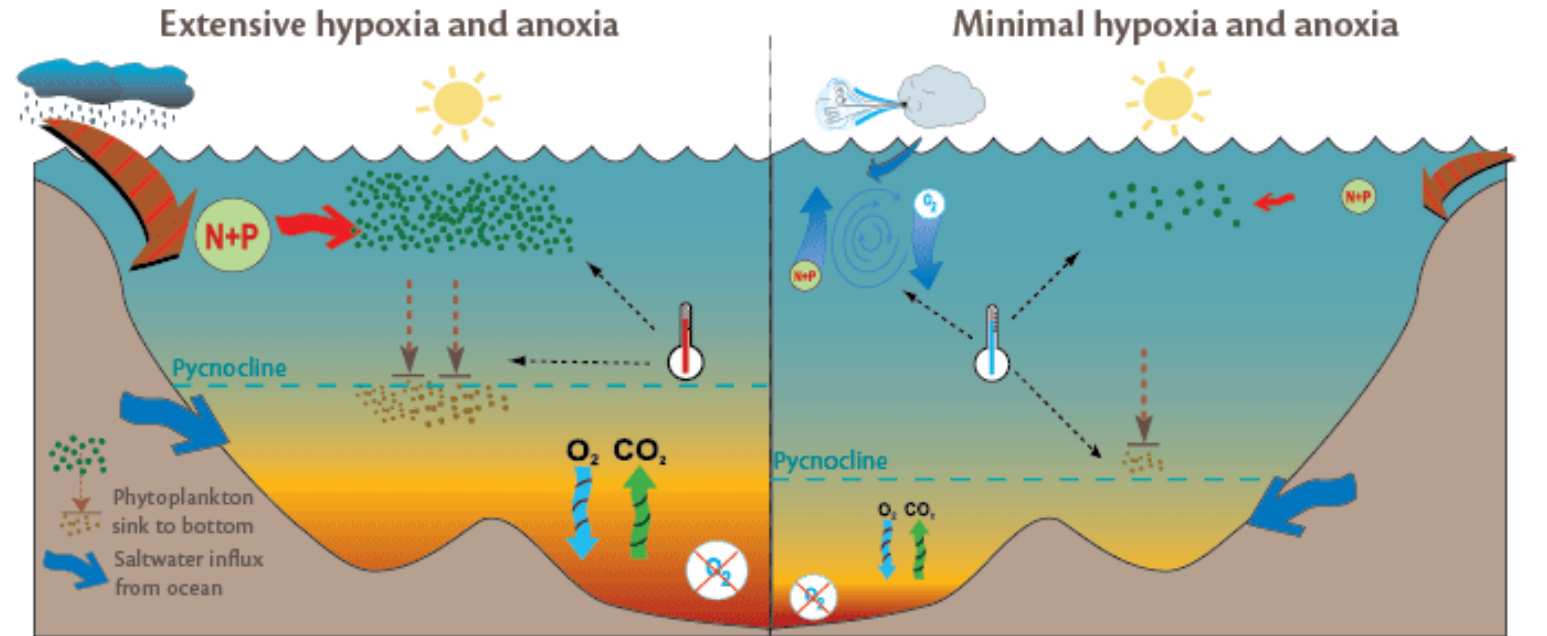
Eutrofizace vede k přemnožení primárních producentů (sinic, řas, atd.; „vodní květ“)

odumřelá biomasa je v prokysličeném vodním sloupci rozkládána bakteriemi, které spotřebovávají O₂

Spotřeba kyslíku a vznik CO₂ - při vysoké produktivitě biomasy jsou vody ochuzené o kyslík (**anoxie**) a výrazně kyselé (**acidifikace**)

Poklesu kyslíku ve vodě (mrtvé zóny, Oxygen Minimum Zone)

Dochází k ukládání organické hmoty na dno moře



	Loads	Phytoplankton	Decomposition	Temperature	Wind event
Large amount of low dissolved oxygen	Large nitrogen and phosphorus loads	Elevated nutrients cause large phytoplankton blooms	High oxygen consumption by decaying phytoplankton	Warm water a) Stimulates decomposition b) Stratifies water column c) Stimulates phytoplankton	No wind event: water column remains stratified
Little amount of low dissolved oxygen	Small nitrogen and phosphorus loads	Less nutrients lead to small phytoplankton blooms	Low oxygen consumption by decaying phytoplankton	Cool water: a) Slow decomposition b) Mixed water column c) Slow phytoplankton growth	Wind events destratifies water column: a) Bottom water aerated b) Nutrients move to surface

Conceptual diagram detailing the factors that determine the dissolved oxygen content of the tidal waters of Chesapeake Bay. Diagram courtesy of the Integration and Application Network (ian.umces.edu), University of Maryland Center for Environmental Science. Source: Ecocheck

<https://ian.umces.edu/site/assets/files/19835/hypoxia-and-anoxia.png>