

Pokročilá historická geologie

petrofyzika a chemostratigrafie



Zástupné proměnné (z angličtiny **proxies**, s. proxy)

- interpretace proměnných, které není možné měřit přímo
- Statistický koncept zástupných proměnných
- proxy parametry musí s interpretovanou proměnnou vykazovat **statisticky významnou korelaci**, například lineární, nelineární, pozitivní či negativní

Příklady:

- životní úroveň státu se posuzuje pomocí hrubého domácího produktu na obyvatele (proxy parametr)
- proxy maximální teploty během pohřbení sedimentu - odraznost vitrinitu nebo krystalinita illitu
- výpočet teploty nebo úhrnu srážek; $\delta^{18}\text{O}$, pylová spektra ...



- moderní technologie - rychlý sběr velkého množství dat (petrofyzikálních, geochemických)
- integrace více proxy parametrů - **multiproxy analýza**
 - velmi detailní a často složité interpretace
- Renaissance stratigrafie od konce 20. století: využití multiproxy analýzy v paleoklimatických, paleoceánografických, paleohydrografických, paleotektonických a dalších interpretacích



Gamakarotážní a gamaspektrometrické metody

- měří **přírozenou radioaktivitu** hornin

- Přírozená radioaktivita tří izotopů
- **draslík** (izotop ^{40}K)
- **uran** (izotopy ^{234}U , ^{235}U a ^{238}U)
- **thorium** (izotop ^{232}Th)

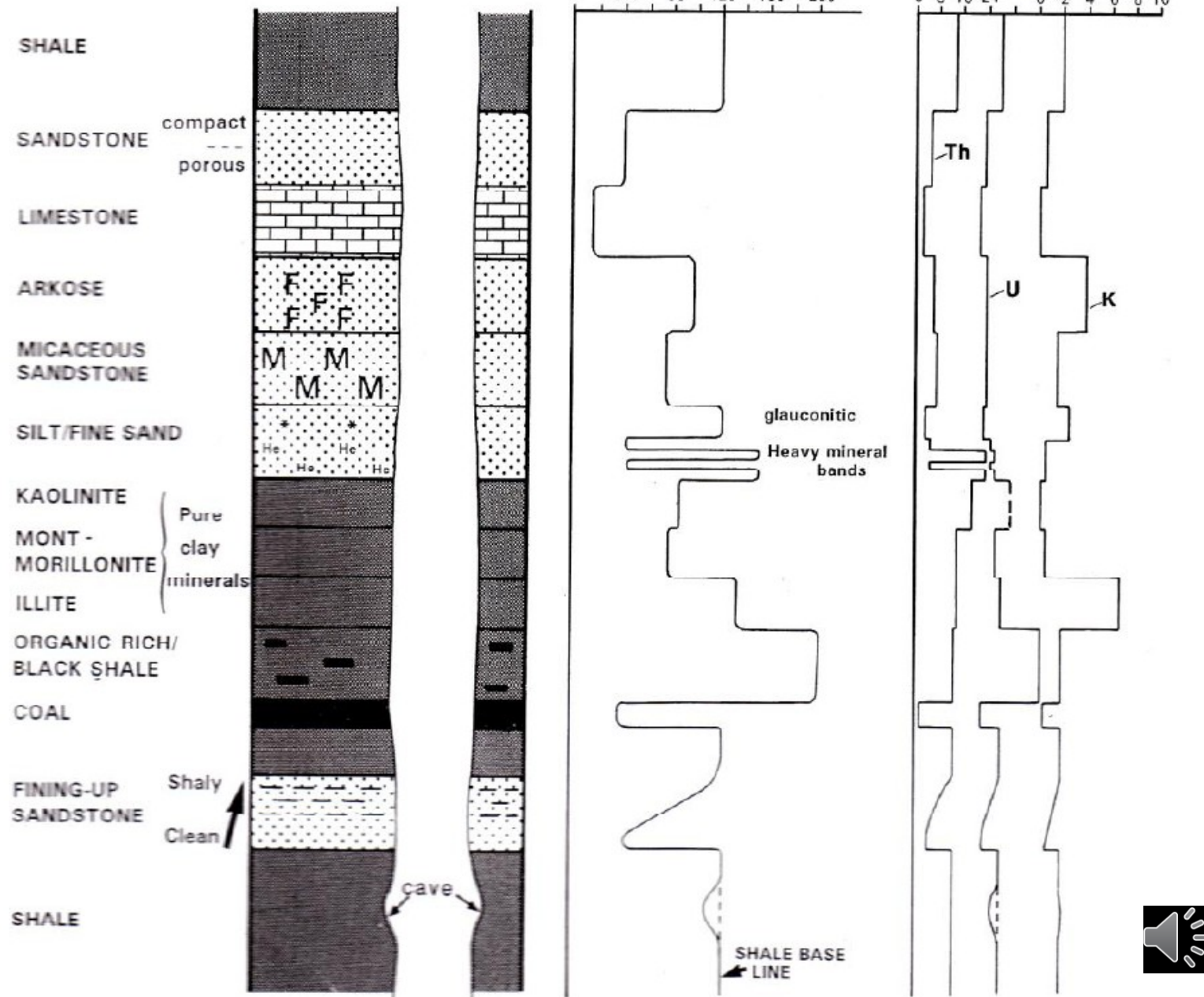


- **základní gamakarotáž** (gamma-ray log) měří celkovou radioaktivitu
- **spektrální gamakarotáž** (spectral gamma-ray log) nebo obecněji **gamaspektrometrie** měří aktivitu každého prvku zvlášť a přepočítává je na koncentrace daného prvku (K %; U + T v ppm)
- analyzováno gamaspektrometrem
- **Gamaspektrometrie na výchozech** (ruční gamaspektrometr)



Gamaspektrometrie

- Gamakarotážní křivky úzce souvisí s litologií hornin
- **proxy minerálního složení hornin**
- Používají se k litostratigrafické korelaci, interpretaci facií a faciálních sledů a v posledních desetiletích také v sekvenční stratigrafii.

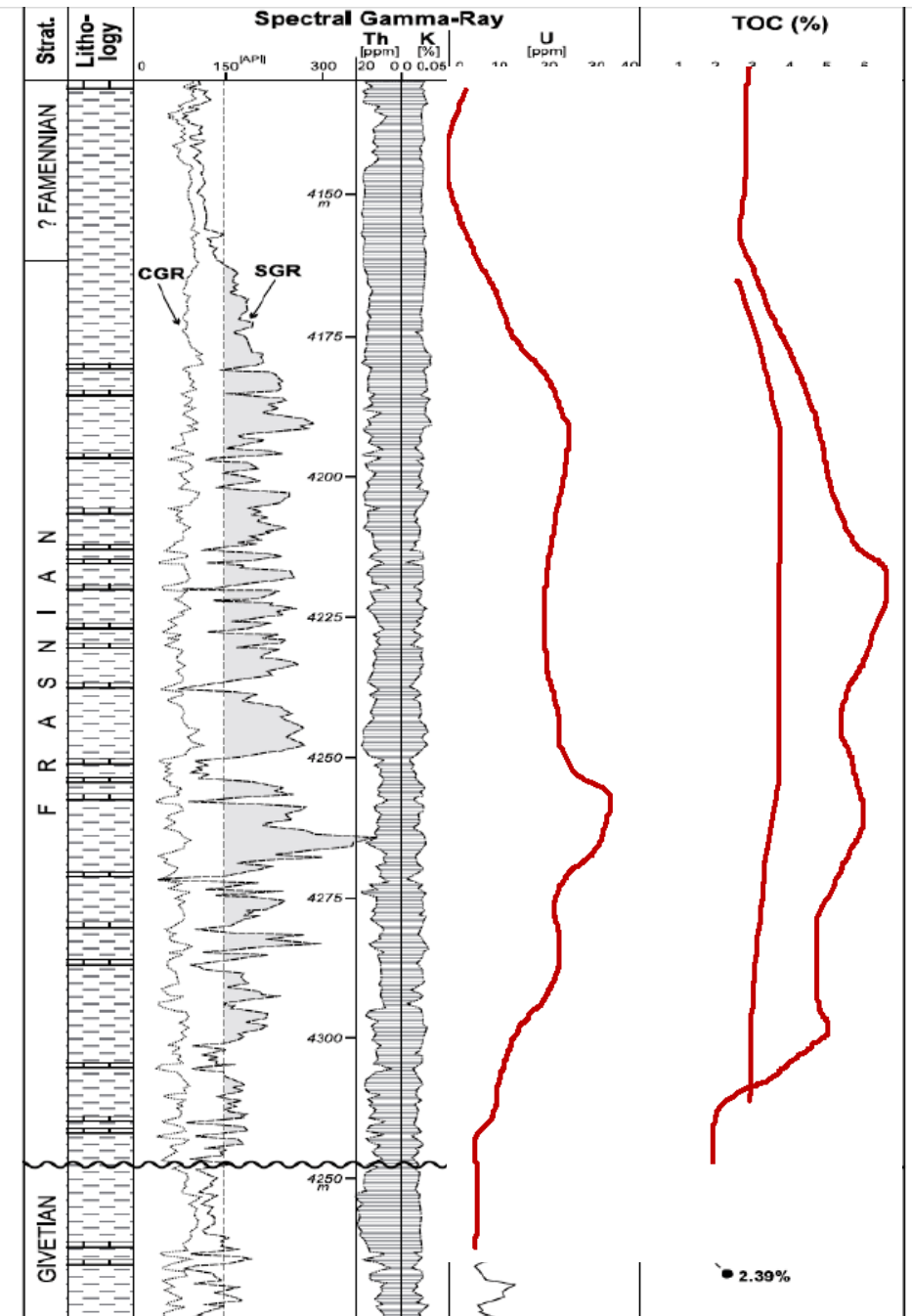


- **Draslík** - součást **fylosilikátů, draselných živců, draselných solí ...**
- vyšší koncentrace K v jílových minerálech = vysoké obsahy K v jemnozrnných klastických sedimentech (jíly a jílovce)
- arkózy a psamity bohaté na draselné živce – vyšší obsahy
- křemenné písky a pískovce - obsahy K nižší
- Obsahy draslíku lze proto s určitým omezením využít jako indikátory zrnitosti



• Uran

- v některých **těžkých minerálech** (monazit, xenotim, thorit, zirkon, apatit), **minerály uranu**,
- **jílové minerály** – U adsorbovaný na povrch jílových minerálů (vyšší U v jemnozrnných klastických sedimentech)
- **organická hmota** - adsorpce ve formě urano-organických komplexů
- izomorfní příměs ve **fosfátech**
- poměrně dobře mobilní i v podmínkách diagenese (v oxickém prostředí, v redukčních podmínkách se váže)



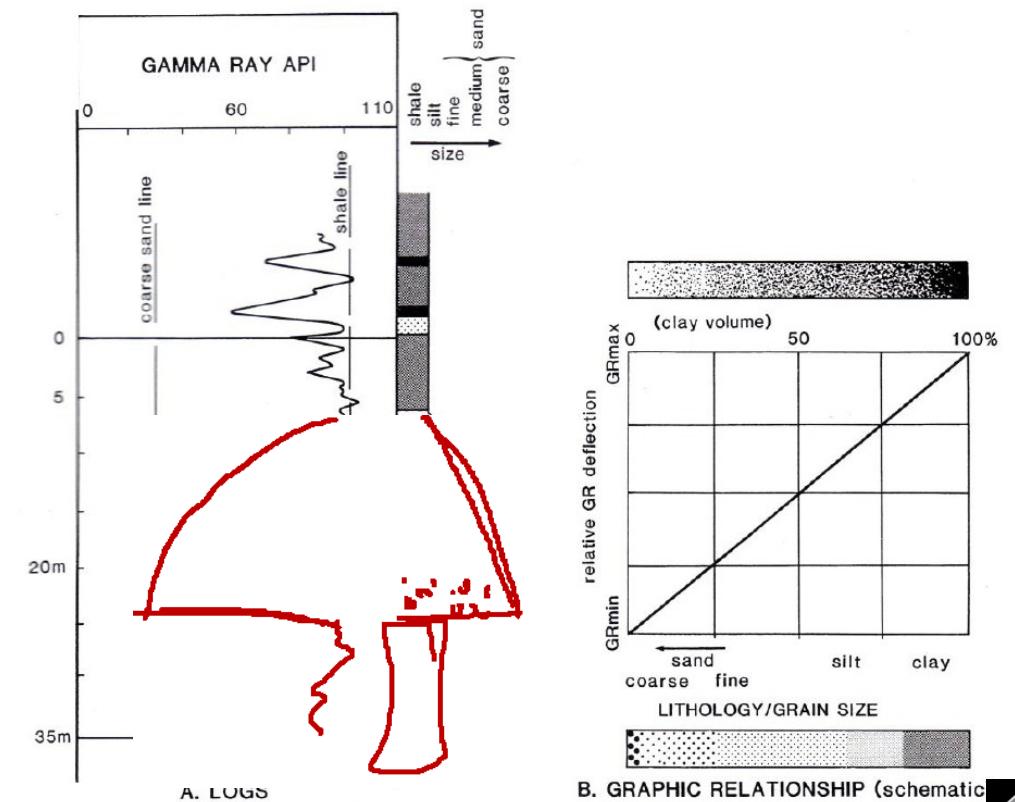
Obrázek 16. Vysoké koncentrace uranu ve svrchnodevonských jílovcích Alžírsko vázané na organ

- **Thorium**

- Nejčastějšími nosiči thoria jsou **těžké minerály**
- v akcesorických minerálech kyselých a intermediárních magmatitů (thorit, allanit(Ce), monazit, epidot, apatit, zirkon a titanit)
- **povrch jílových minerálů**, podobně jako uran.
- chemická stabilita



- Radioaktivita **klastických sedimentů** je většinou závislá na **zrnitosti**
- Obsah jílových minerálů a těžkých minerálů je přímo úměrný zrnitosti
- jemnozrnnější klastika - vyšší radioaktivita
- Nižší radioaktivita psamitů - vyšší obsahy neradioaktivního křemene
- Radioaktivita sedimentů je však ovlivněna také **minerálním složením** písčité a prachové frakce (arkózy, černé břidlice)
- Záleží však i na zdrojové hornině klastik: budou-li písčité zrna derivována z více radioaktivních hornin, „zrnitostní“ pravidlo platit nemusí

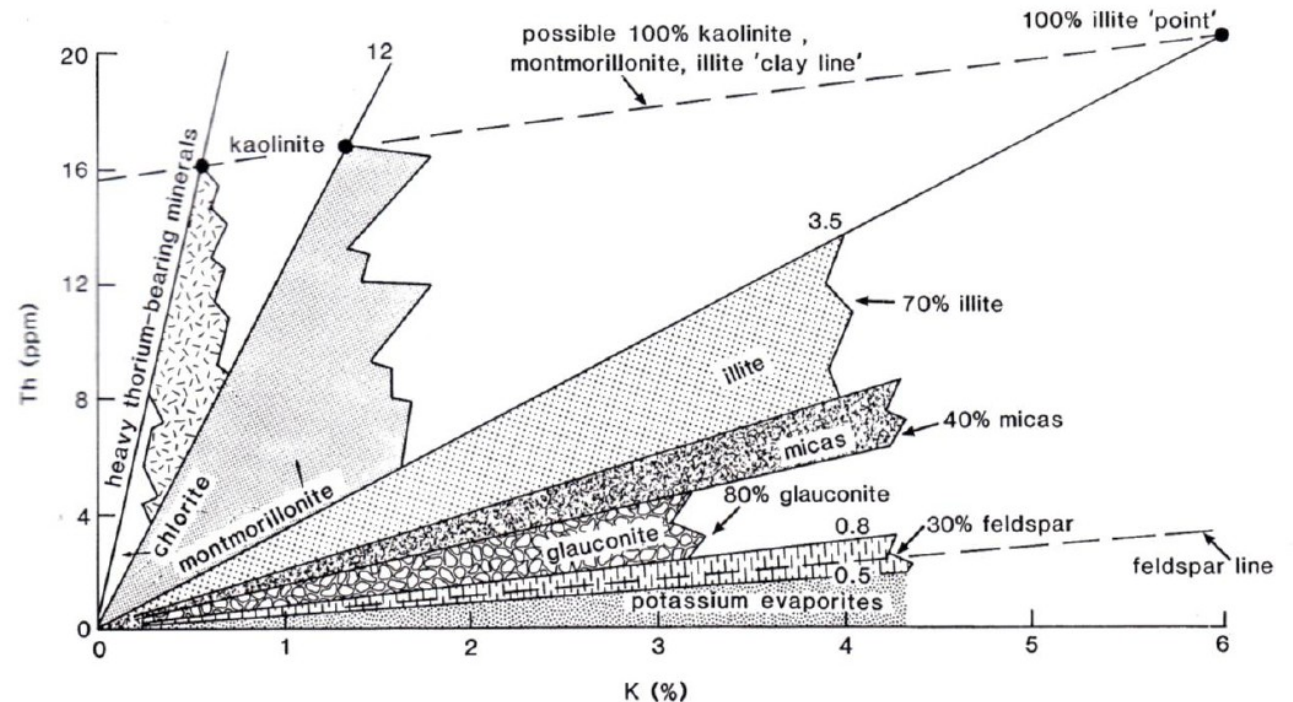


Obrázek 15. Interpretace zrnitosti ze základní gama křivky. Změny v zrnitosti pískovce se odrážejí ve změnách radioaktivity. Grafické znázornění vztahů mezi litologií, zrnitostí a hodnotami gamazáření. Upraveno podle (1999).

poměry K/Th

K a Th vázány převážně na detritickou složku

- Poměru K/Th lze použít pro **identifikaci** hlavních **nosičů radioaktivity** a zdroje sedimentu (provenience) a styl zvětrávání
- Vysoké poměry K/Th - draselné soli, draselné živce, glaukonit
- Nízké poměry - smektit, kaolinit nebo těžké minerály

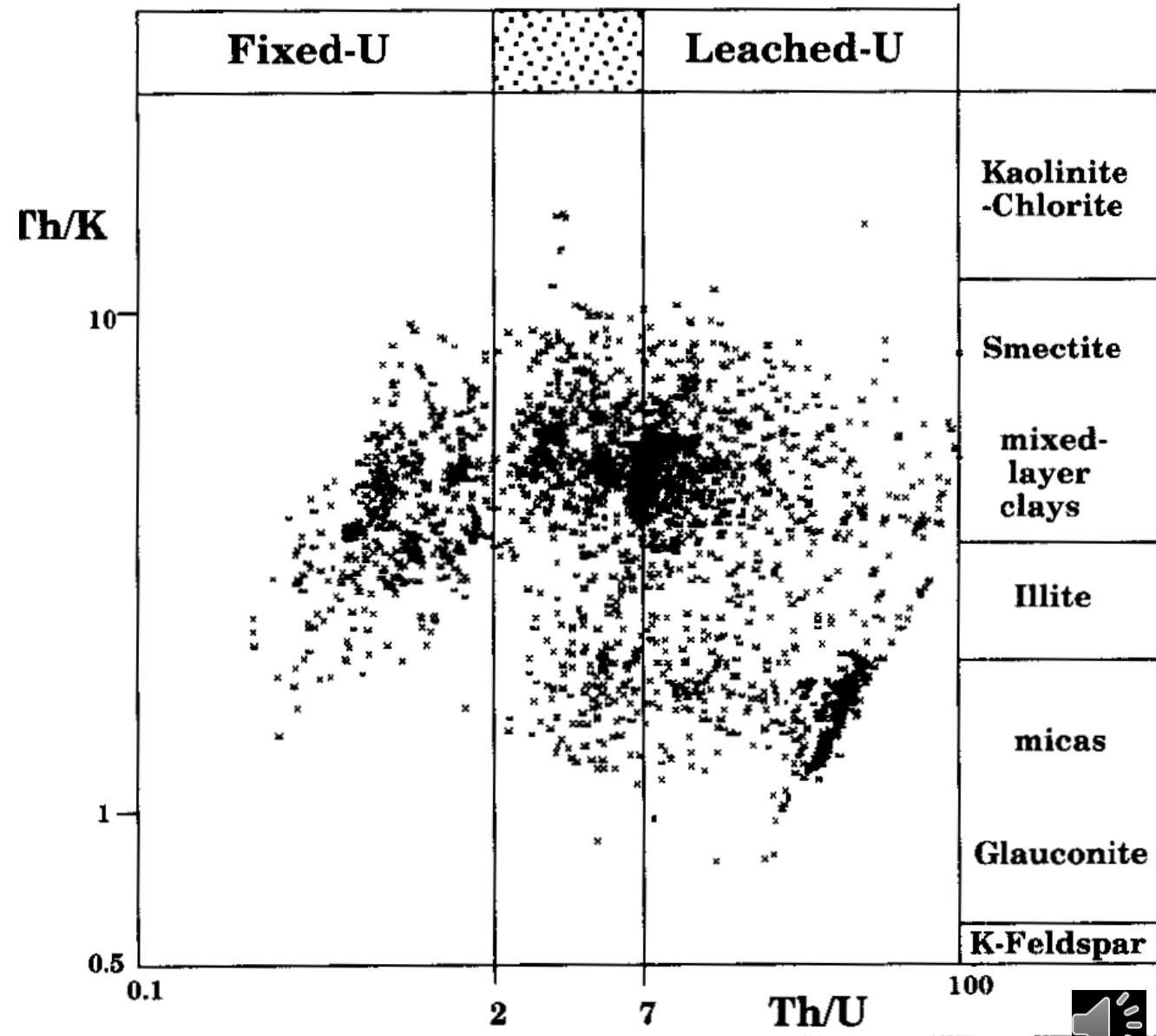


Obrázek 14. Použití poměru K/Th: teoretická distribuce draslíku a thoria v jílových minerálech, těžkých minerálech, draselných živcích a evaporitech. Upraveno podle: Rider (1999).

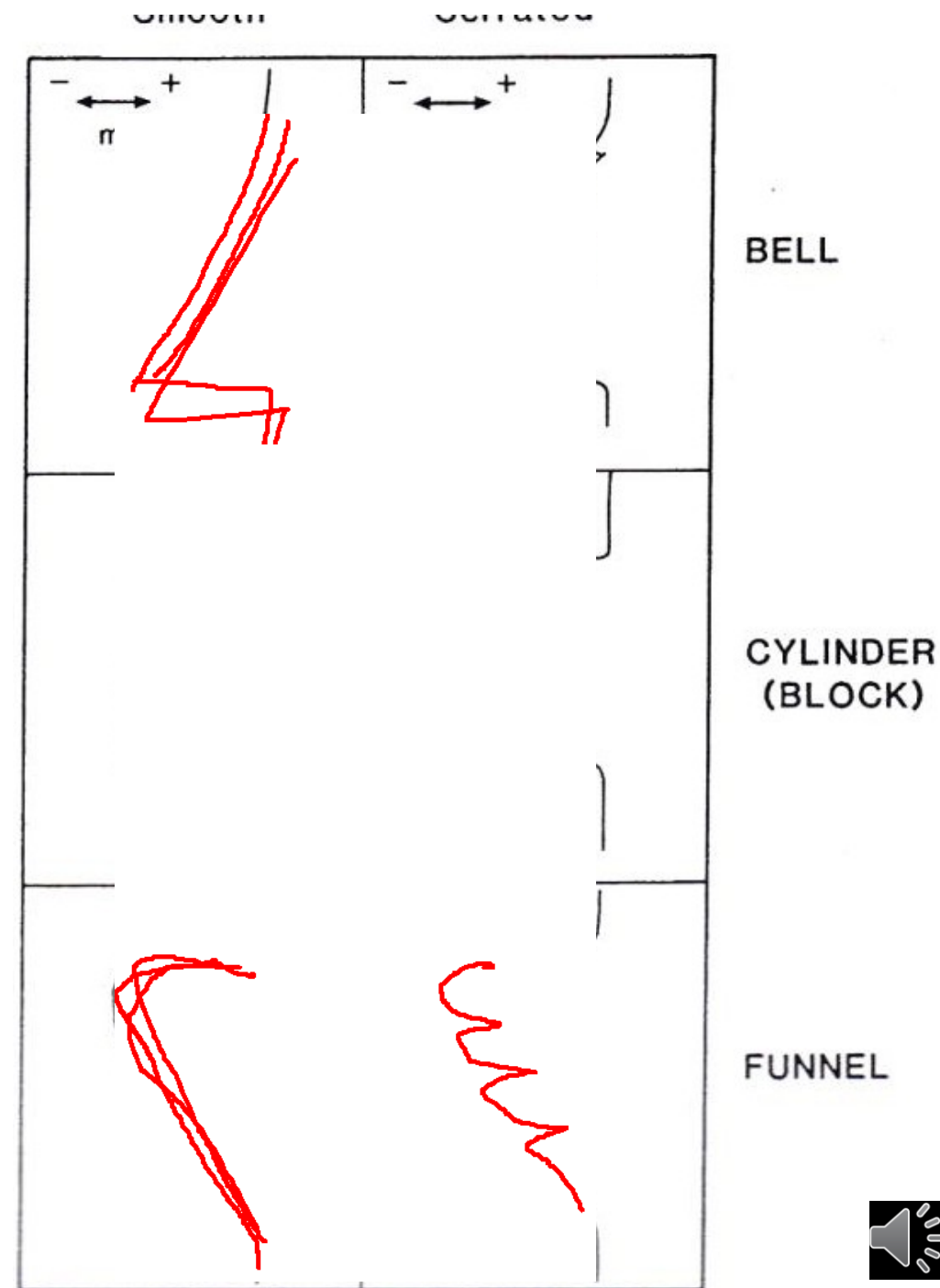


poměry U/Th

- U + Th v jílových minerálech
U v organické hmotě
- Vysoké poměry U/Th - jílové břidlice s vysokým obsahem organické hmoty
- potenciální matečné horniny pro uhlovodíky
- Anomálně vysoké poměry U/Th
- **kondenzované horizonty** nebo **anoxické/dysoxické podmínky**

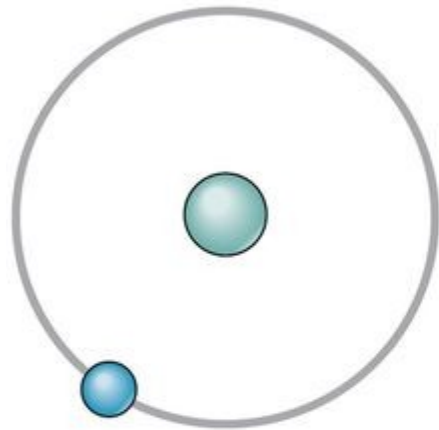


- Tvary spektrálních gama křivek:
 - **do nadloží zjemňující** (retrogradační) zrnitostní trendy (**zvoncovitý tvar** křivek)
 - **do nadloží hrubnoucí** (progradační) trendy (**nálevkový tvar**).

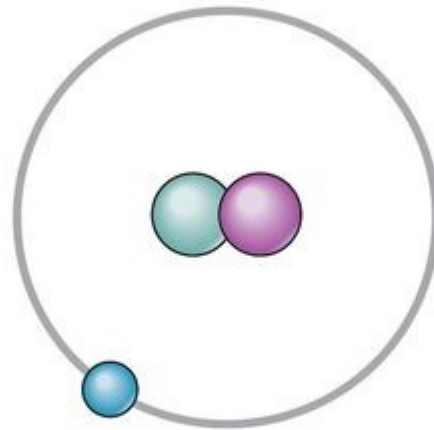


Izotopová chemostratigrafie

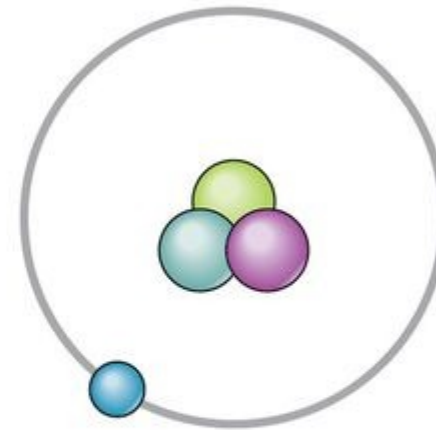
- Využívání poměrů stabilních izotopů
- **Izotopy** - jádra atomů izotopů prvku se stejným počtem protonů, ale různým počtem neutronů
- stejné atomové číslo / rozdílná atomová hmotnost



Protium (${}^1_1\text{H}$)



Deuterium (${}^2_1\text{H}$)



Tritium (${}^3_1\text{H}$)



Izotopová chemostratigrafie

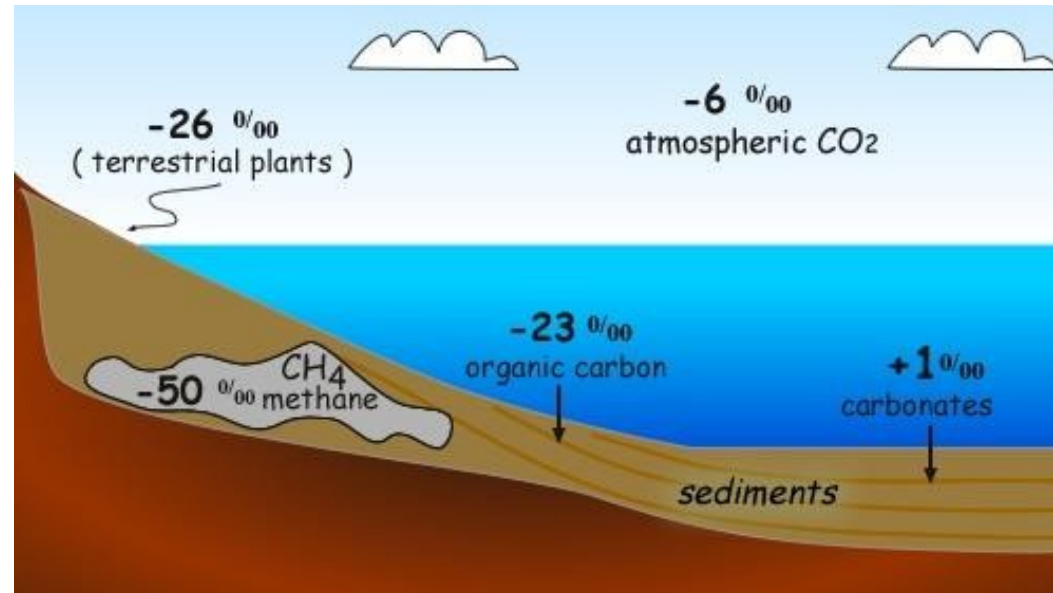
- přirozené změny v poměrech stabilních izotopů (nejčastěji $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ a $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) v přírodních materiálech
- změny jsou způsobeny při **frakcionaci** malými rozdíly v jejich fyzikálních a chemických vlastnostech
- různé izotopy vstupují přednostně při reakcích do různých výsledných produktů
- měření izotopových poměrů **hmotnostními spektrometry**
- specifikace zdroje prvků, jejich stopování během fyzikálněchemických procesů, kvantifikace a bilancování sledovaných systémů



- Hlavním sledovaným parametrem je poměr mezi množstvím lehčích a těžších izotopů
- Poměr izotopů se uvádí jako malé písmeno delta (δ) s uvedením těžšího izotopu, např. $\delta^{13\text{C}/^{12}\text{C}}$ e poměr
- Uvádí se jako promile ‰

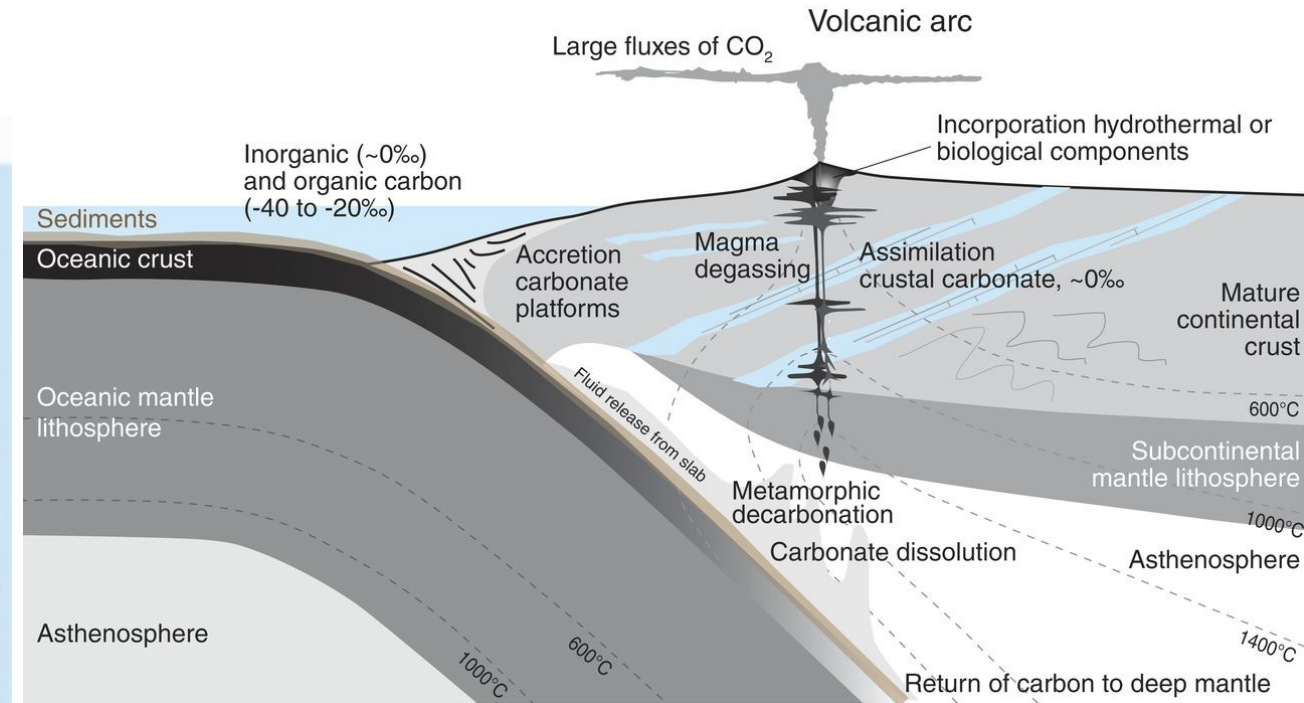
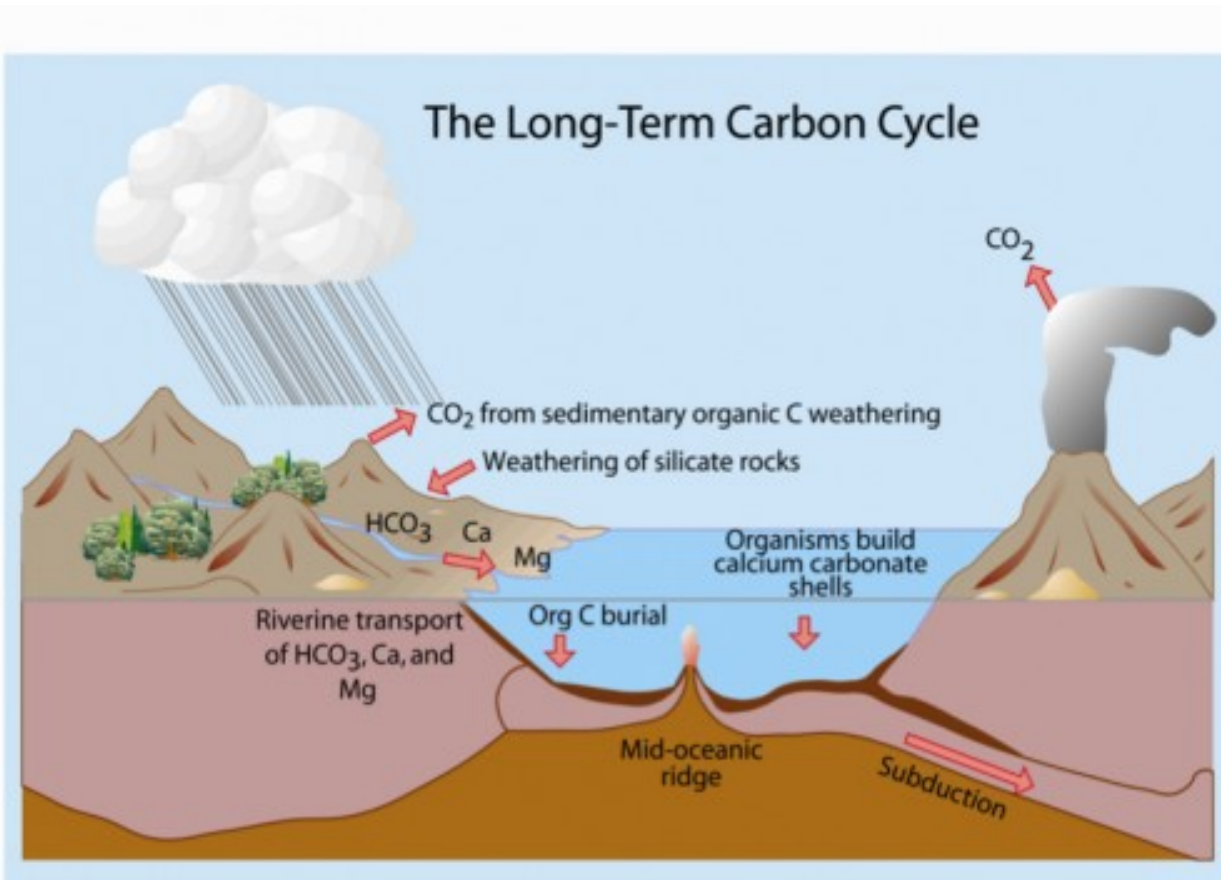


- Hodnota poměru stabilních izotopů analyzovaného vzorku se vyjadřuje ve vztahu k referenčnímu materiálu, tzv. standardu, jehož izotopový poměr je známý a rovná se 0
- Materiály s těžším izotopovým složením než standard mají kladné hodnoty a naopak
- Př. Jako standard pro $\delta^{13}\text{C}$ bylo vybráno rostrum belemnita *Belemnitella americana* z křídového souvrství Peedee, Jižní Karolína.
- Tento standard je označován jak PDB (Peedee Belemnite). Došlo však k spotřebování původního standardu, proto byl uměle vytvořen nový, který je uložený ve Vídni (VPDB = Vienna Peedee Belemnite)



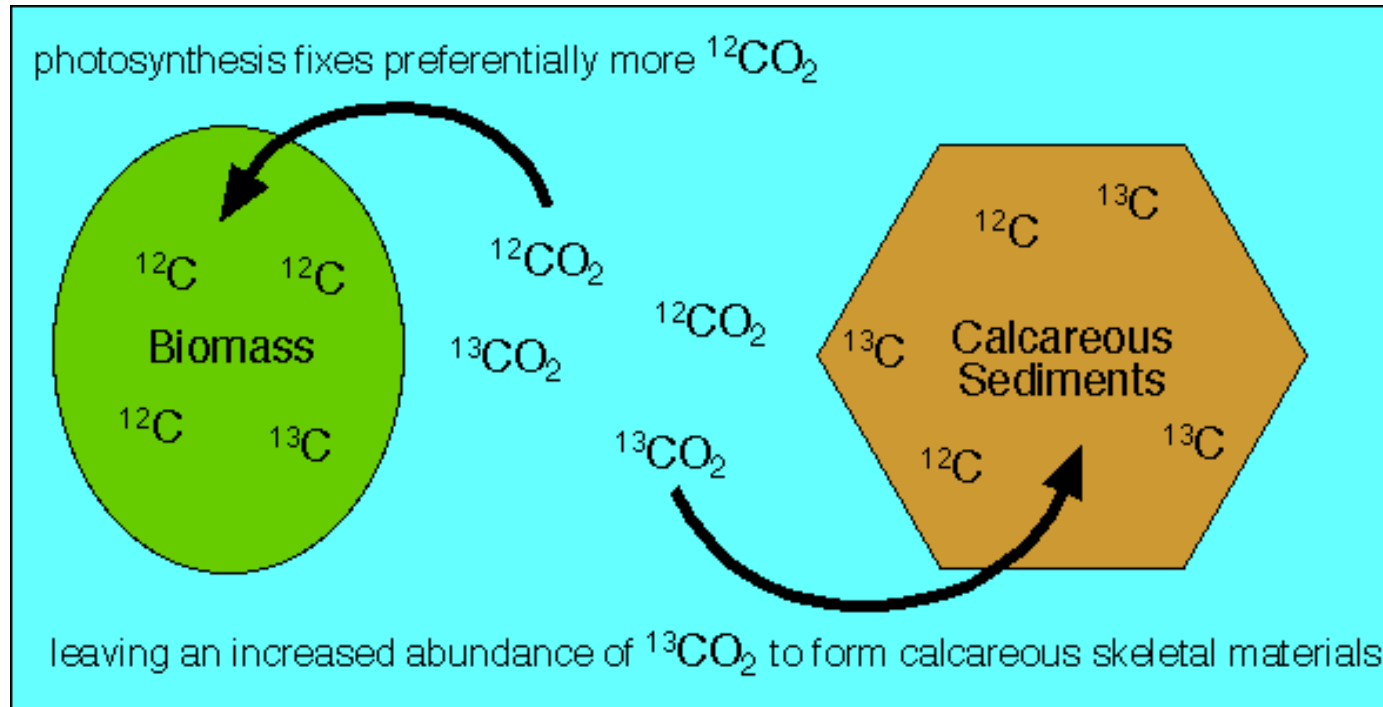
Stabilní izotopy uhlíku

- dva stabilní izotopy ^{12}C (tvoří 98,89% objemu C) + ^{13}C (1,11%).
- Cyklus uhlíku je jedním z nejvýznamnějších geochemických cyklů, který je spojen jak s oceánografickými, geologickými, atmosférickými tak biologickými cykly a procesy



Stabilní izotopy uhlíku

- karbonát schránek a koster organismů má uhlík v rovnováze s mořským a atmosférickým uhlíkem (CO_2)
- díky izotopické „homogenizaci“ či „zprůměrování“ v rámci vysokých rychlostí jejího míšení (v řádu prvních tisíců let)

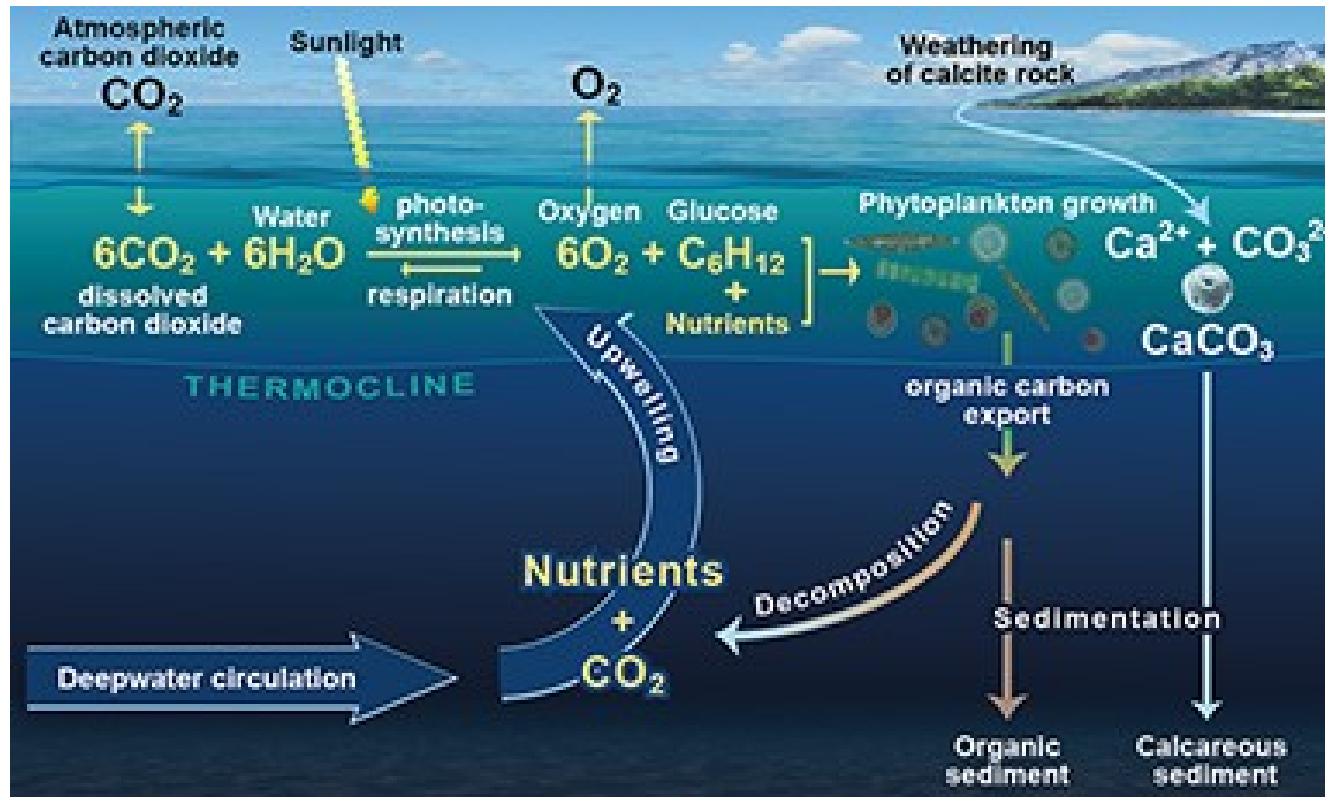


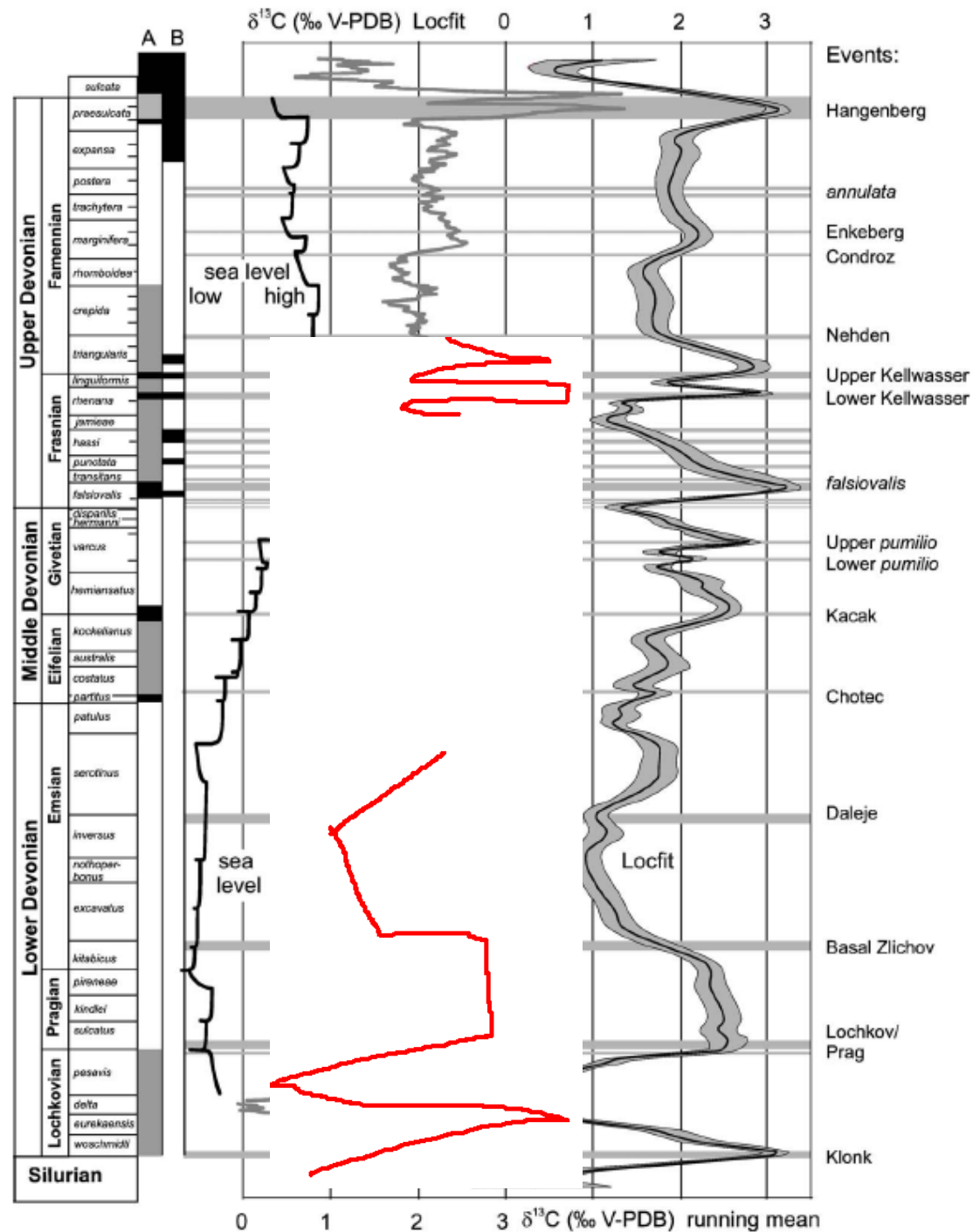
- Lehčí „organický“ ^{12}C přednostně využívá biota (primárně při fotosyntéze – primární producenti) při vytváření organických sloučenin
- Těžší „anorganický“ ^{13}C přednostně vystupuje do karbonátových komponent organismů a sedimentu

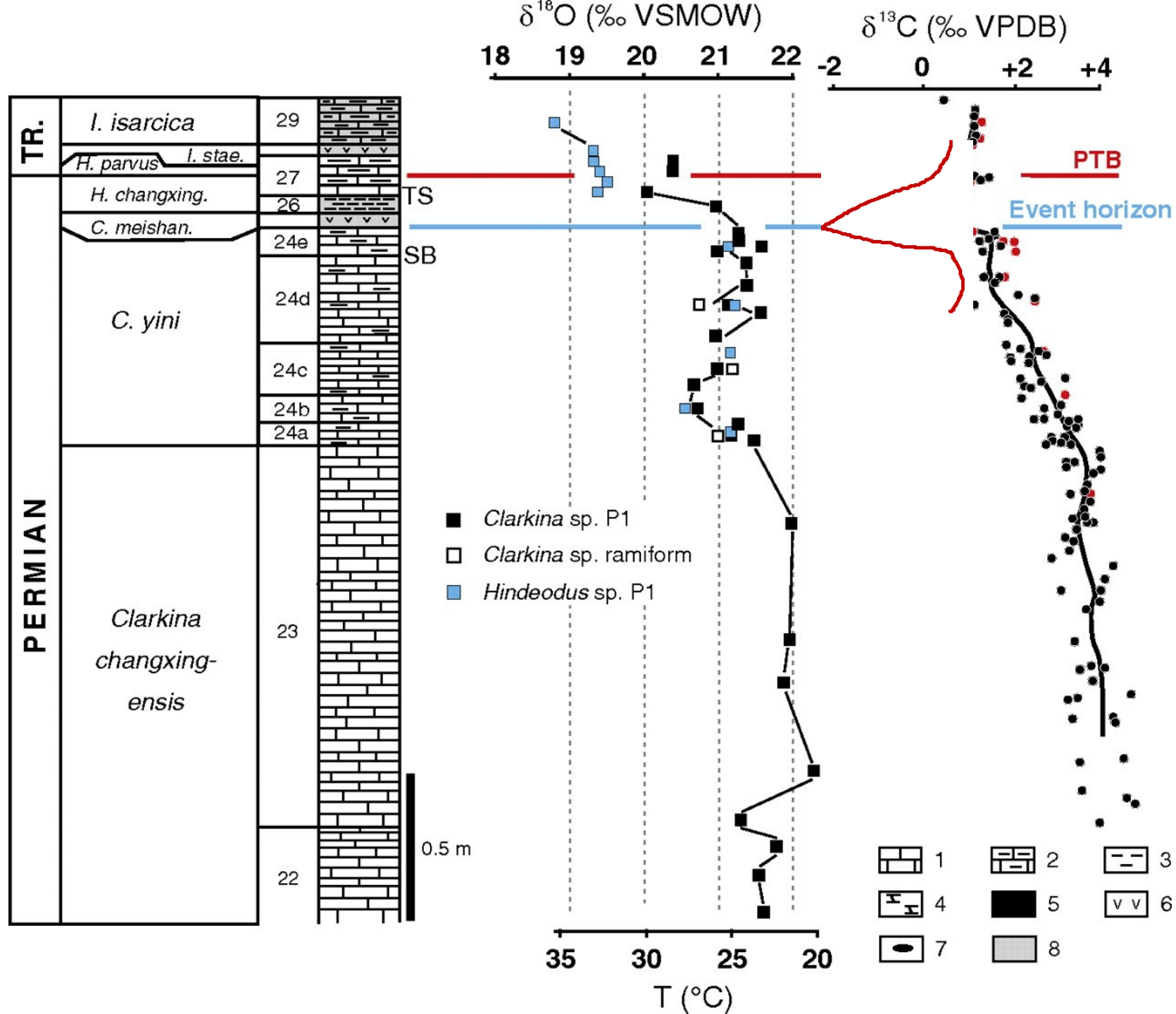


Stabilní izotopy uhlíku

- Poměr organického (^{12}C) a anorganického (^{13}C) uhlíku je ovlivněn rychlostí pohřbívání organického uhlíku a bioproduktivitou oceánů
- více pohřbené organické hmoty (s ^{12}C) = větší poměr zastoupení těžšího ^{13}C
- Změny izotopického složení uhlíku mořské vody spojené s uhlíkovým cyklem mohou odrážet stav globálního ekosystému Země

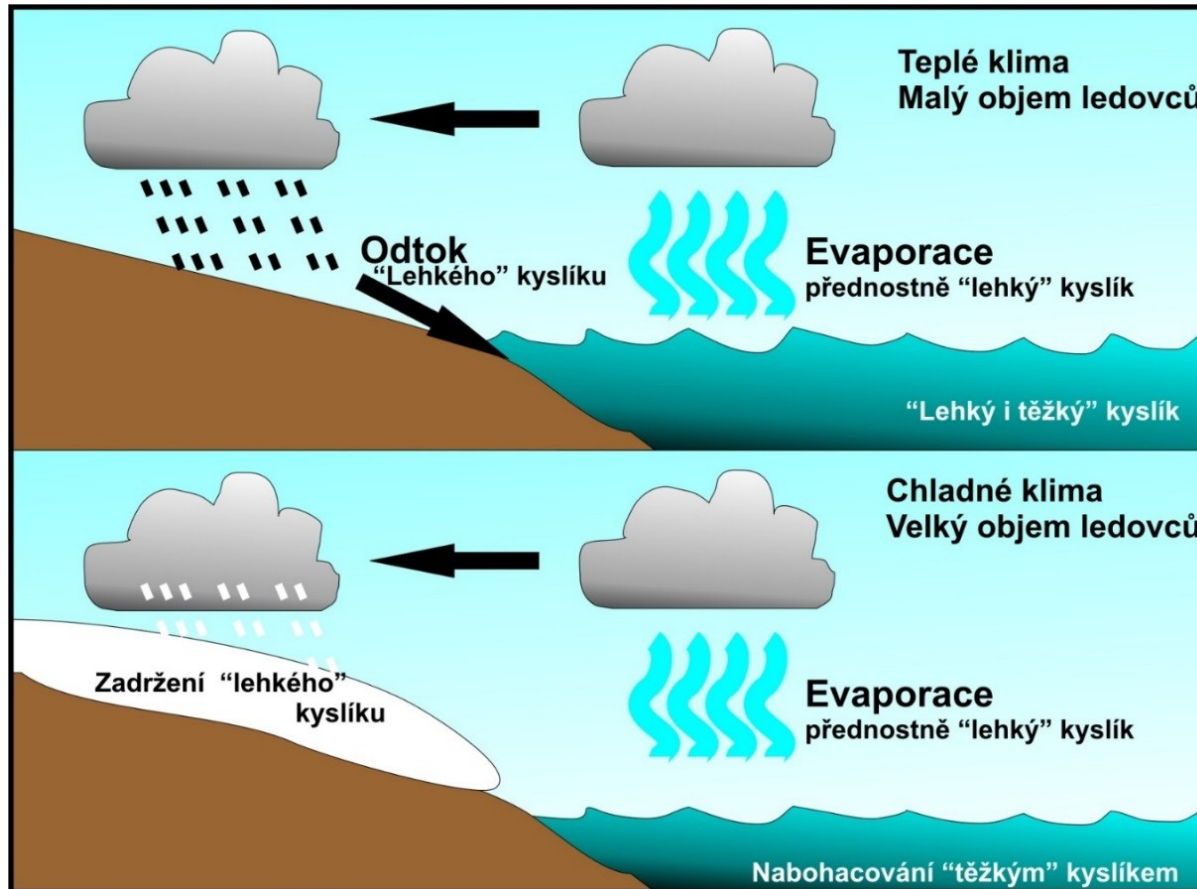






Stabilní izotopy kyslíku

- Izotopické složení mořské vody je vázáno na frakcionační procesy spojené především s hydrologickým cyklem (evaporace, atmosférický transport par a jejich srážení)
- Dlouhodobé zadržování vod ve zvodních či ledovcích má velký vliv na izotopické poměry v oceánech
- Data z kalcitových schránek, z frankolitu kondontů, zubů;

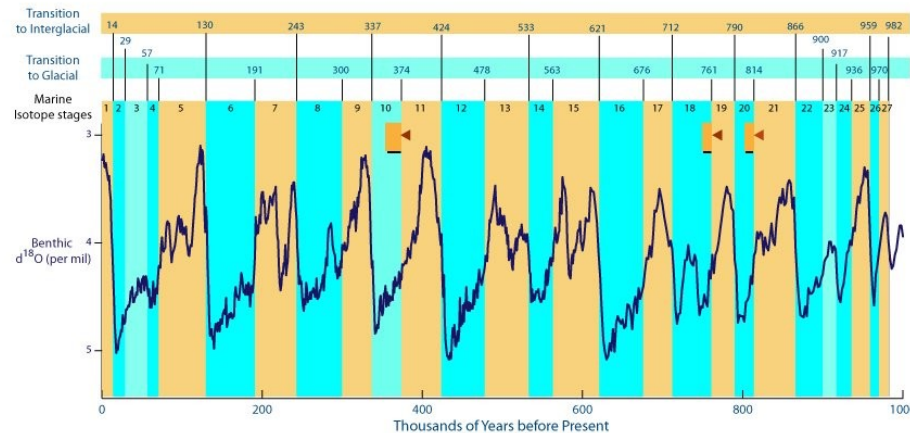
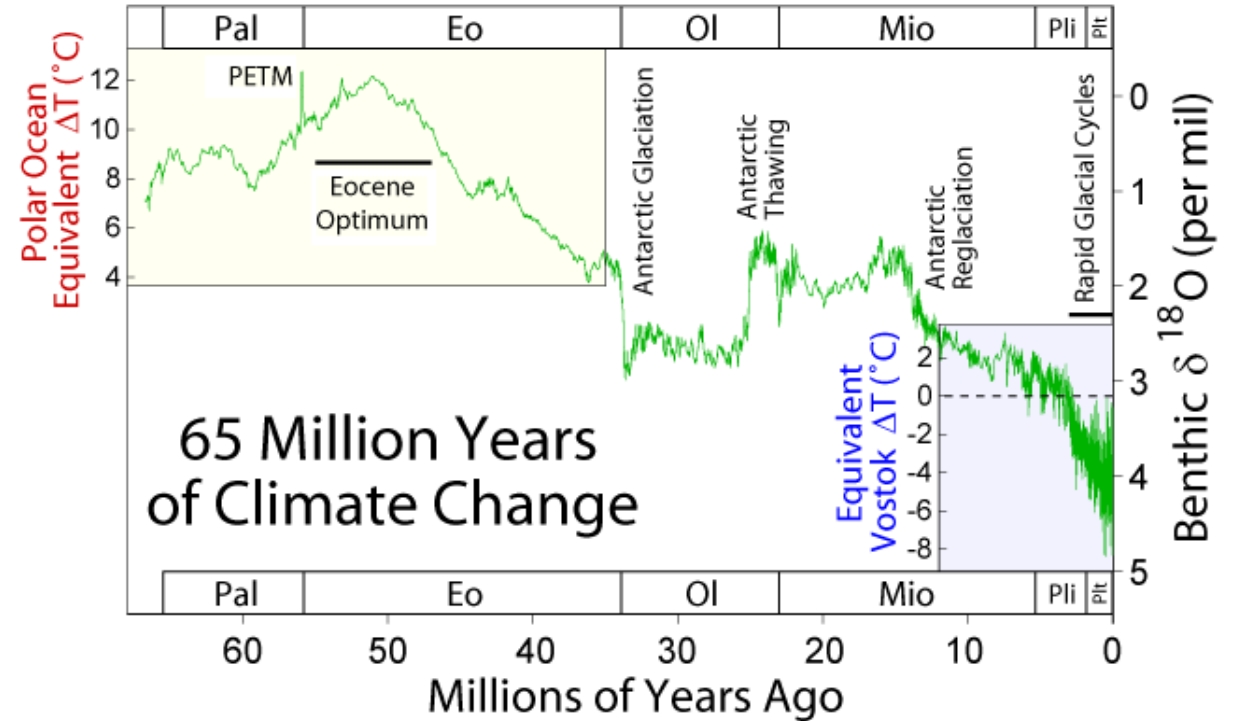
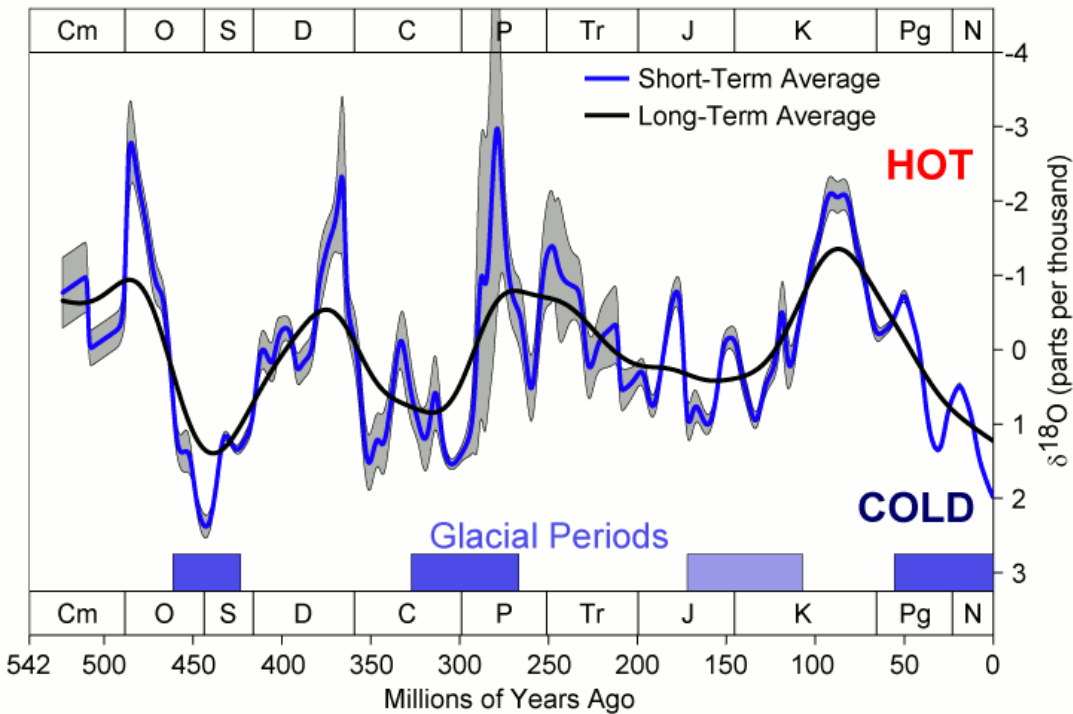


- **Kyslíková paleotermometrie**



Význam izotopického signálu kyslíku

Phanerozoic Climate Change



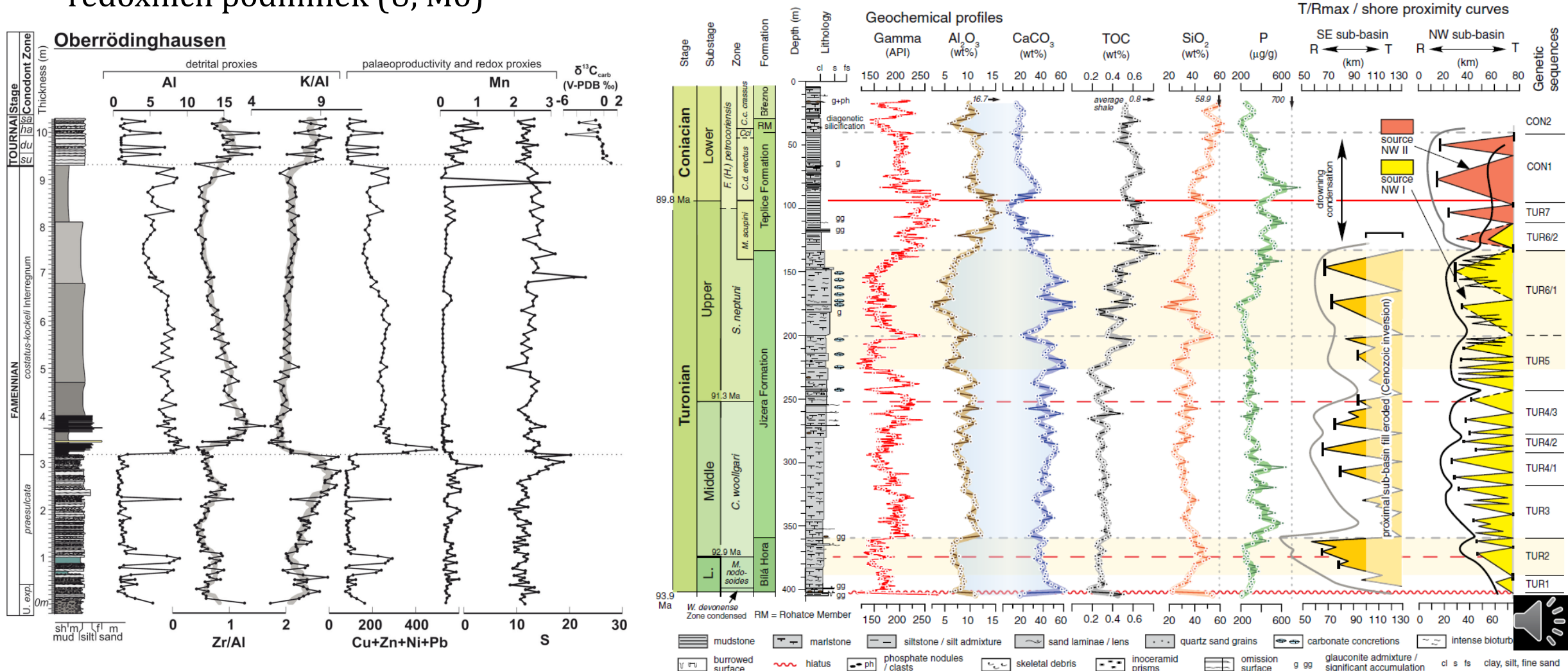
— Global temperatures, Lisiecki and Raymo 2005
 Marine isotope stages, Lisiecki and Raymo 2005
 Delayed build-up of Arctic icesheet, Hao et al.

Illustration by
 www.skepticalscience.com
 based on Lisiecki and Raymo 2005
 and Hao et al. 2012



Chemostratigrafie hlavních a stopových prvků

- Prvkové koncentrace a jejich poměry - paleoenvironmentální interpretace změn:
 - přínosu klastického materiálu (Al, K, Th, Zr, Rb)
 - mořské bioproduktivity (P, Cu, Zn, Ni, Pb)
 - redoxních podmínek (U, Mo)



Chemostratigrafie hlavních a stopových prvků

- prvkový ukazatel změn paleoredoxních podmínek: obohacení redoxně sensitivních stopových prvků (Mo, V, U, ...)
- V redukčním prostředí je Mn extrémně mobilní, zatímco v oxickém prostředí bývá Mn vázán v sedimentech v podobě oxidů a karbonátů.
- Cu, Ni, Zn a Pb se mohou do sedimentů dostat v redukčních podmínkách ve formě sulfidů (ať už jako samostatné sulfidické fáze nebo např. jako součást pyritu) nebo být adsorbovány na organickou hmotu

