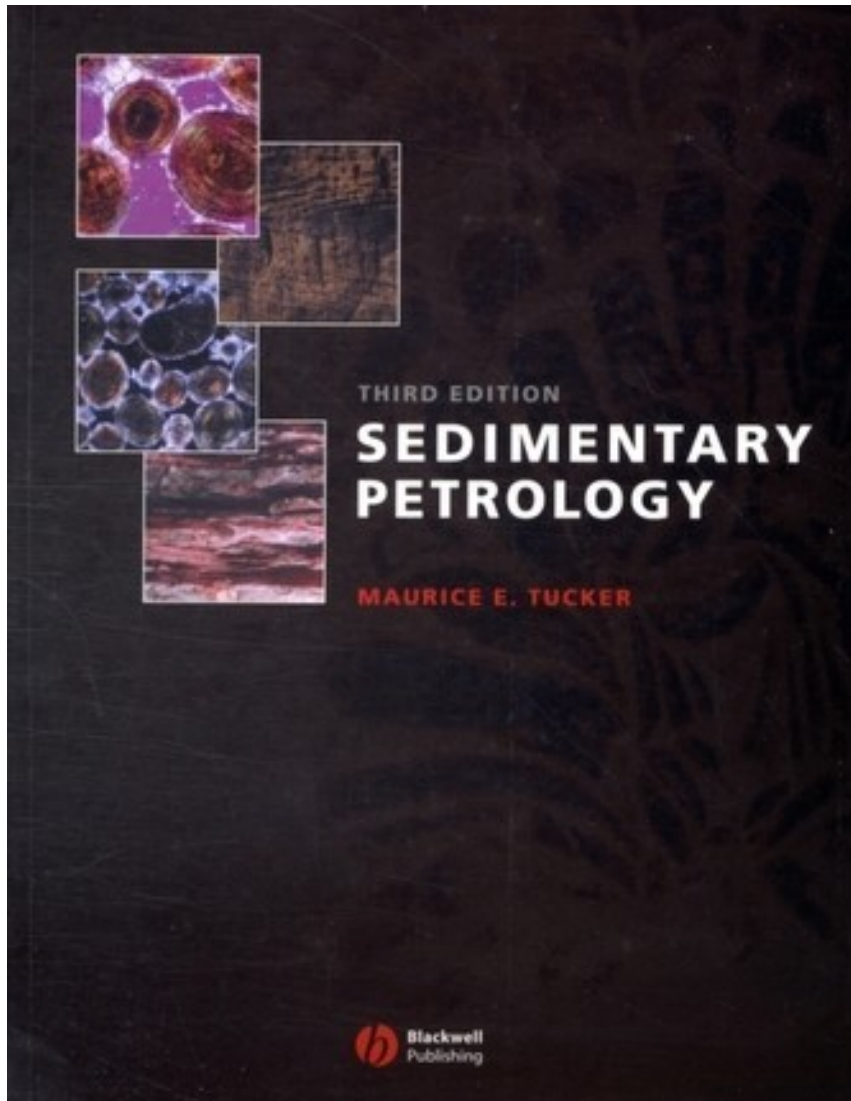


# Sedimentární petrologie

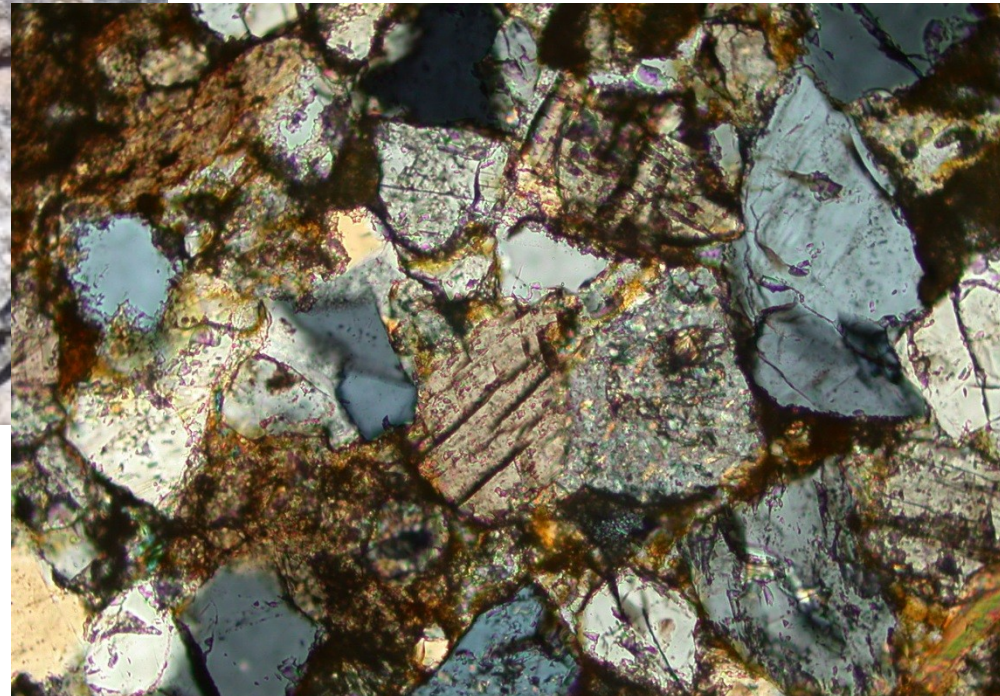
I. Úvod



Maurice Tucker  
University of Durham

<https://knihy.heureka.cz/sedimentary-petrology-m-tucker-m-tucker/>

- **Petrografie – popis a klasifikace hornin (z řečtiny, petra – kámen; grafein – psát)**
- **Litologie – petrografie sedimentární hornin (ačkoli můžeme na termín narazit i jinde)**



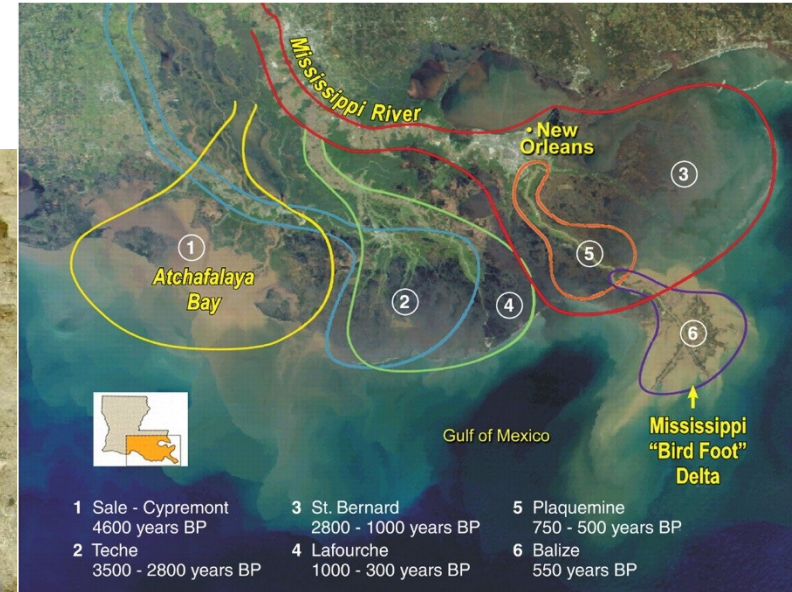
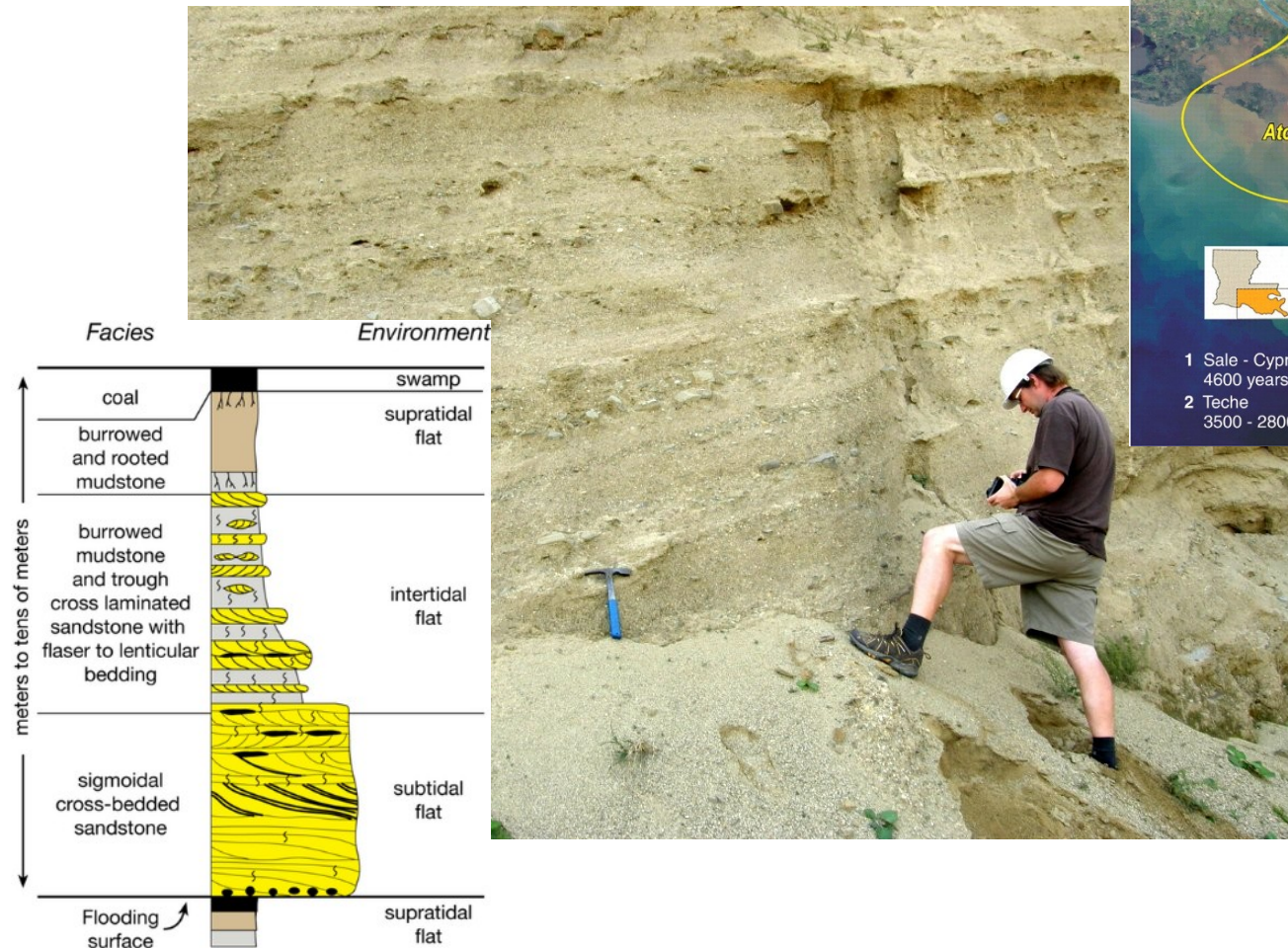


- **Petrologie – komplexní studium hornin (... logos – znalost)**



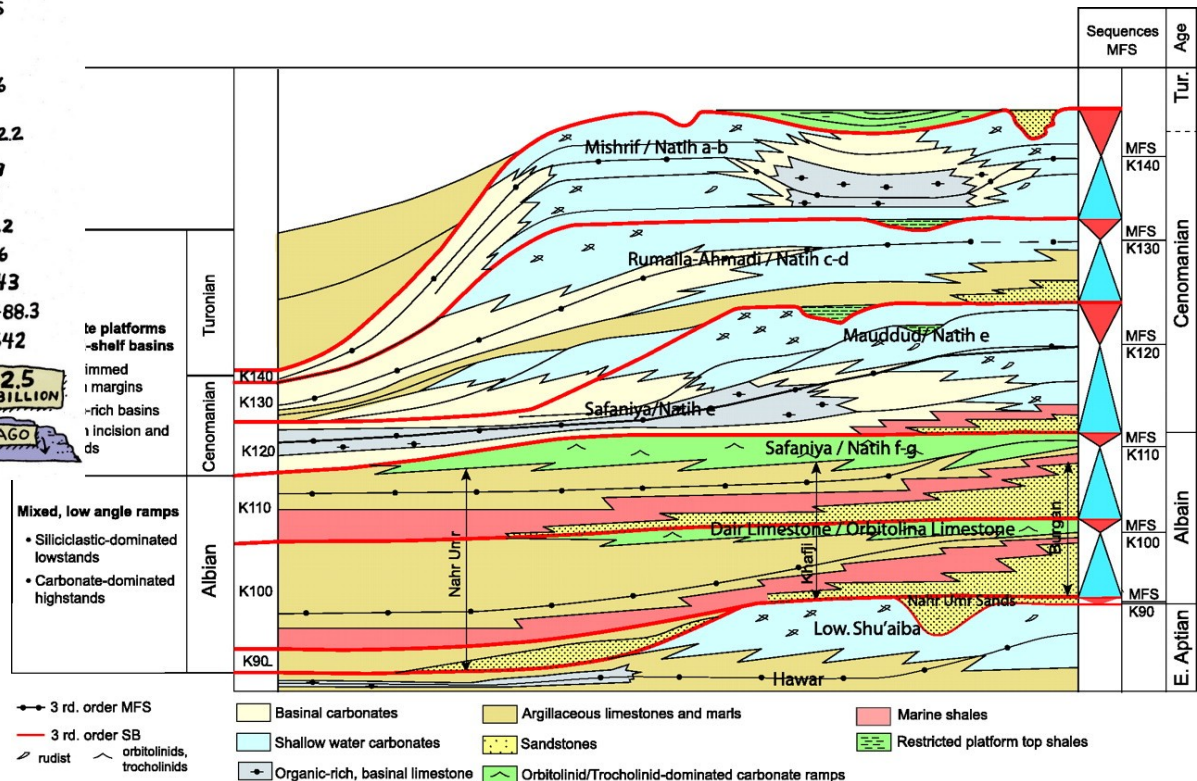
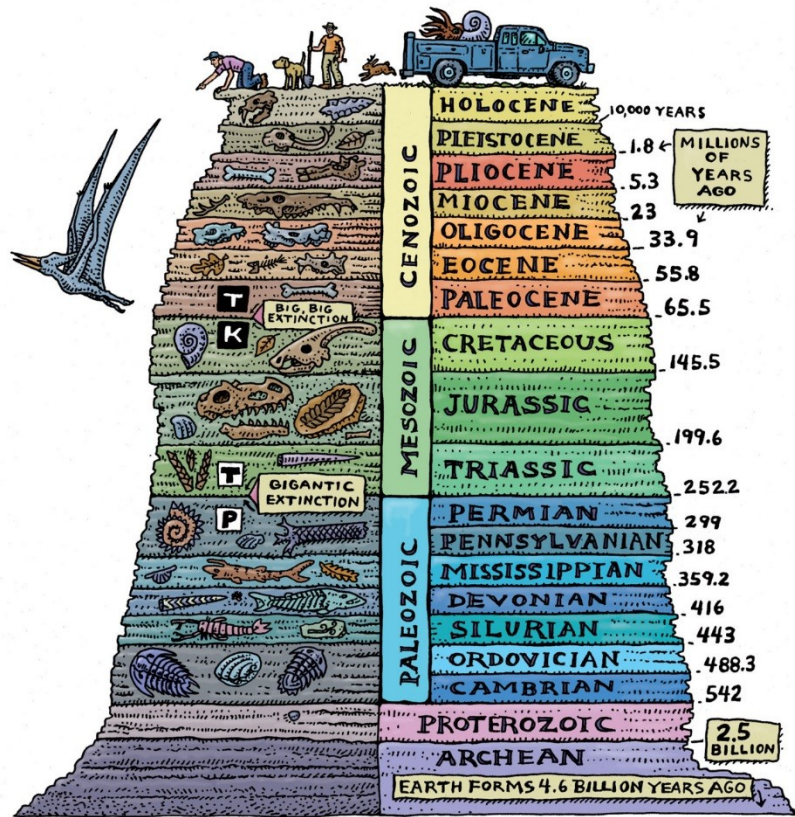


- **Sedimentologie – studium procesů transportu a ukládání horninového, biologického, antropogenního materiálu a jeho složení**





- **Stratigrafie – studium časoprostorových vztahů horninových těles a událostí, které vedly k jejich uspořádání**



- Sediment s.s. – nezpevněný sedimentární materiál
- Sedimentární hornina – zpevněný sedimentární materiál
- Často je vágně používán termín sediment i pro zpevněné sedimentární horniny



# Význam sedimentárních hornin

- Cca 70% hornin na povrchu Země je sedimentárního původu
- Geologický záznam sedimentárních hornin zahrnuje celou škálu depozičních prostředí, která můžeme nalézt na Zemi ve fosilním záznamu tak v současnosti



































# Význam sedimentárních hornin

- **Ložiková geologie**
- **Inženýrská geologie**
- **Pedologie**
- **Environmentální geologie a hydrogeologie**
- **Paleoklimatologie**
- **Paleobiologie**
- ...

# Význam sedimentárních hornin

- Studium recentních sedimentárních systémů a procesů umožňuje dešifrovat sedimentární geologický záznam a **rekonstruovat změny paleoprostředí**
- Některé typy sed.hornin, vznikajících v minulosti, v současnosti nevznikají



# Význam sedimentárních hornin

- sedimentární horniny jsou hlavním zdrojem/matečnou horninou celé řady nerostných surovin, nezbytných pro fungování lidské civilizace
- V první řadě to jsou **uhlovodíky** (ropa, zemní plyn) a uhlí
  - pokroky ve studiu vlastností sed.hornin umožňují jejich efektivnější vyhledávání a využívání
- Sed.horniny jsou také hlavním zdrojem:
  - Železa
  - Ledku
  - Soli
  - Stavebních surovin

# Význam sedimentárních hornin

- Většina povrchu kryta sedimentem/sed.horninami = výzva pro inženýrskou geologii
- Často mohou představovat geohazardy





# Základní koncepty

# Klasifikace sedimentárních hornin

- Sed.horniny vznikají fyzikálními, chemickými a/nebo biologickými procesy
- Na základě převládajícího procesu jsou klasifikovány do 4 základních kategorií
  - 1) klastické = siliciklastické, terigenní, detritické, epiklastické
  - 2) biogenní, biochemické a organické
  - 3) chemogenní
  - 4) vulkanoklastické
- Mnoho sedimentárních hornin vykazuje přechodní charakteristiky mezi zmíněnými kategoriemi



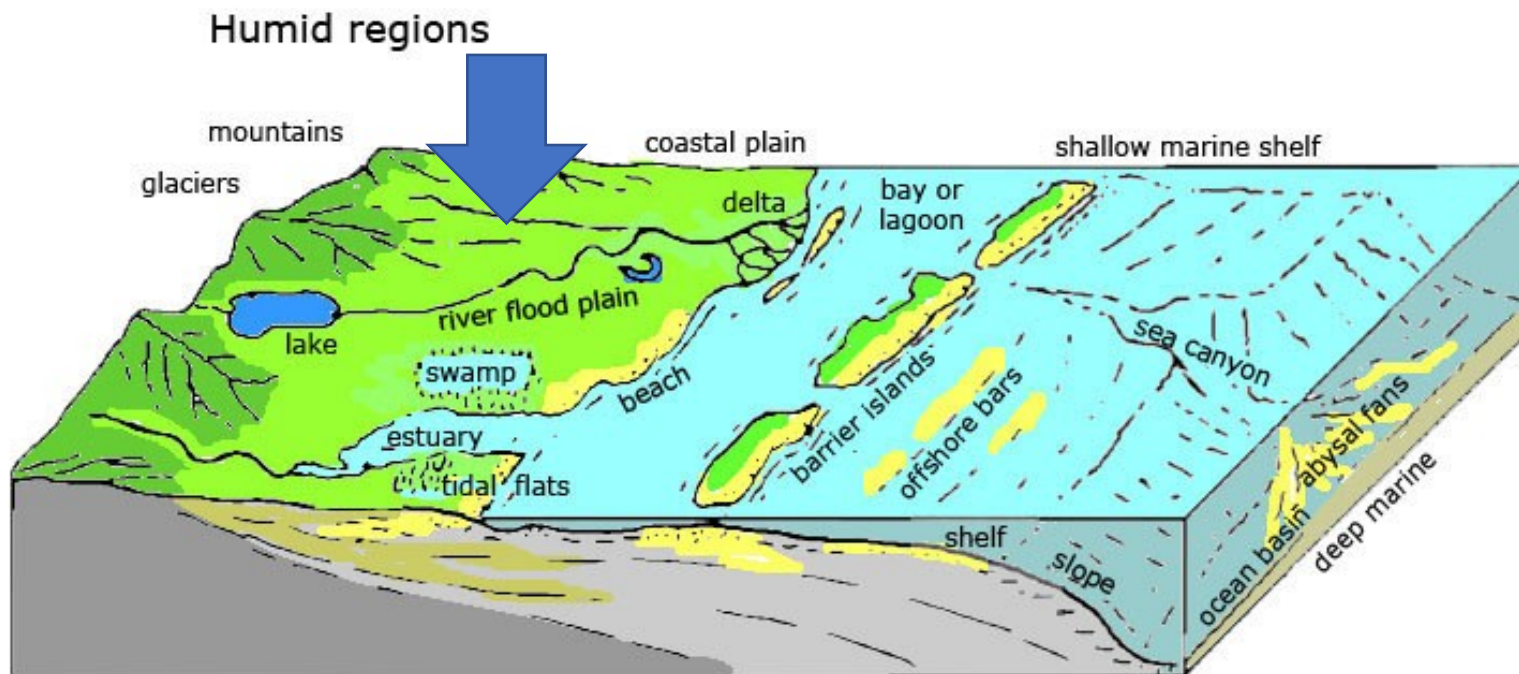
# Prostředí sedimentace

- Prostředí s převládající erozí / transportem / depozicí
- Většina zvětrávacích a transportačních procesů, uvolňujících sedimentární částice (zrna) nebo ionty do roztoku, probíhá na kontinentech
- Klima, místní geologická situace a topografie řídí kvalitu a kvantitu sedimentárních komponent a rozpuštěných látek

# Prostředí sedimentace

- Kontinentální (terestrická) prostředí: nejzásadnější jsou fluviální systémy, lakustrinní, glaciální a eolická prostředí
  - nižší potenciál pro zachování sedimentu v geologickém záznamu

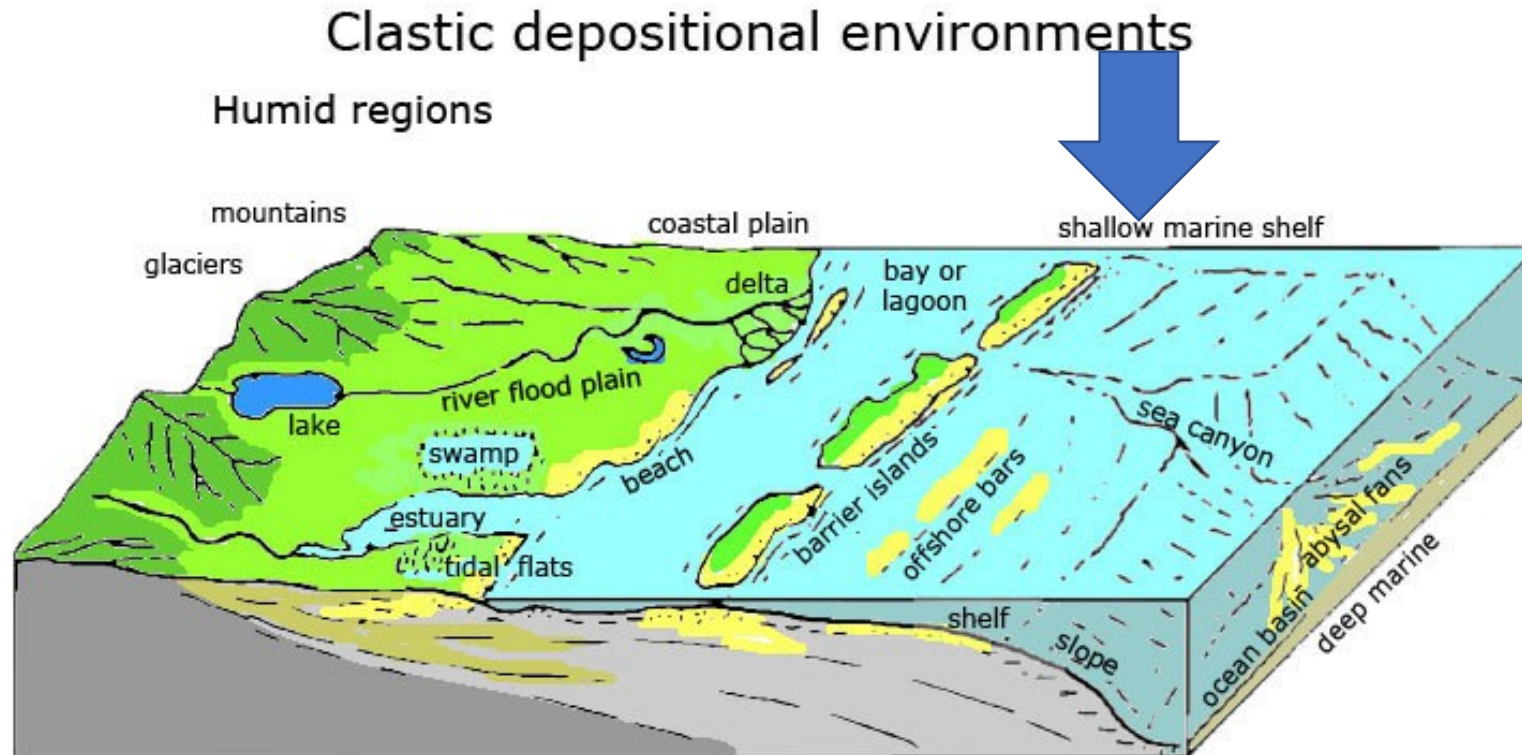
## Clastic depositional environments





# Prostředí sedimentace

- Marinní prostředí: pobřežní a deltové systémy, šelfy a epeirická moře, pevninské svahy, batiálně-abysální prostředí
  - vyšší potenciál pro zachování sedimentu v geologickém záznamu



# Depoziční mechanismy

- Sediment může být uložen v různých prostředích různými mechanismy

## Transport

- Proudící voda, vzduch (trakce, saltace, transport v suspenzi ...)
- Gravitační pohyby směsi sediment/voda nebo čistě jen sediment

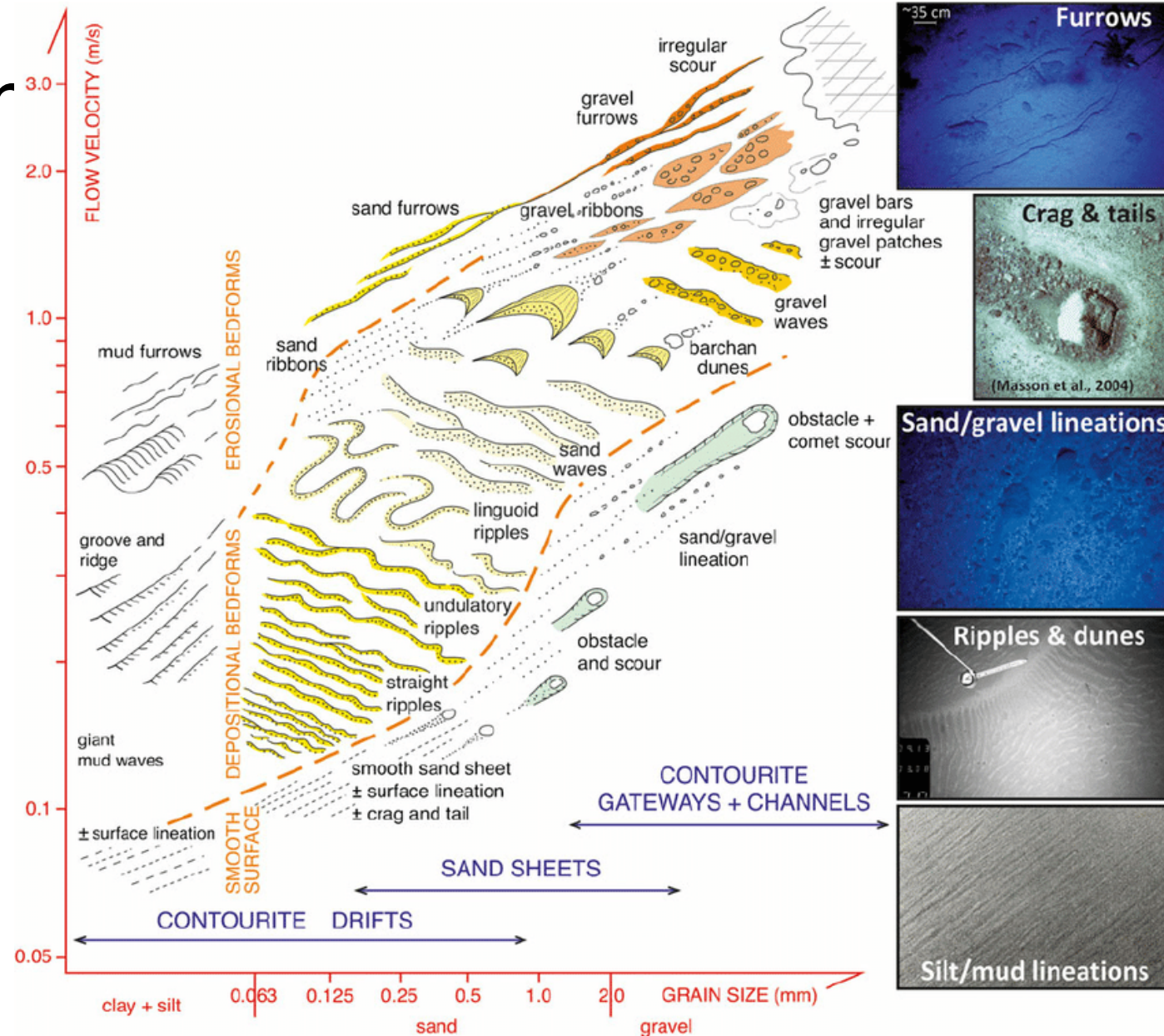
## *In situ*

- biogenní činnost (biogenní nárůsty)
- chemogenní precipitace (autigneze)



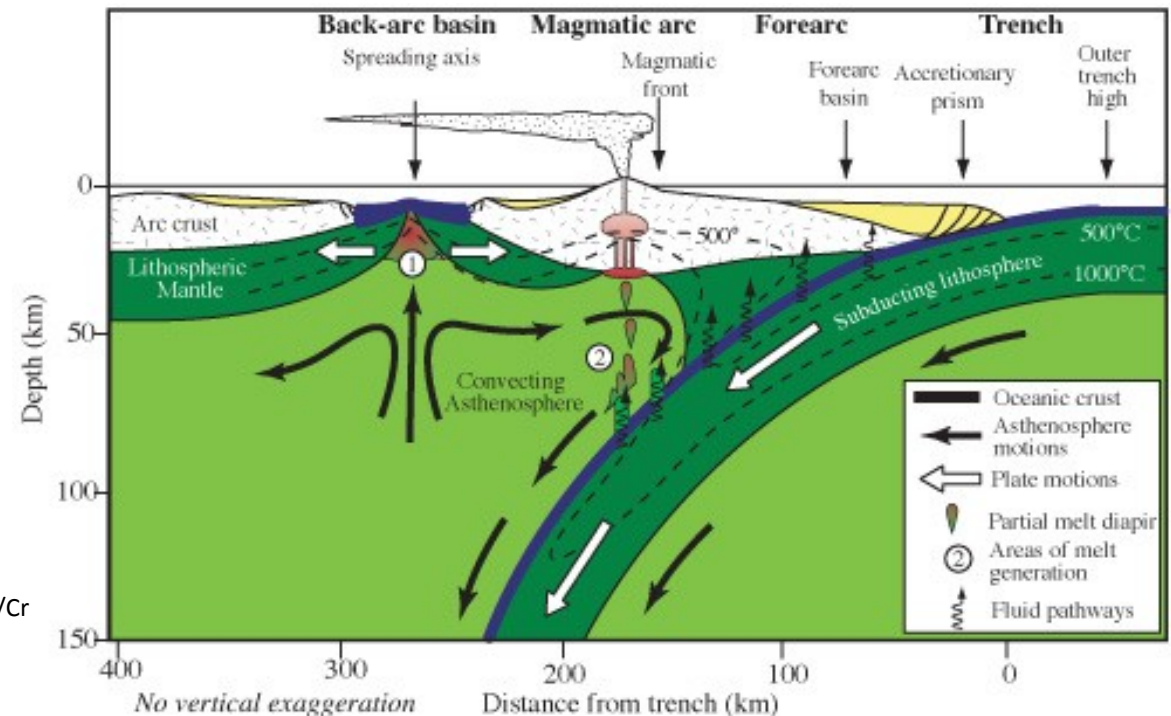
# Depoziční mechanizmy

- Zanechávají záznam ve formě charakteristických struktur a textur
- Některé depoziční procesy jsou typické pro specifická prostředí / proudové režimy / klimatická pásma / atd.,
- jiné se vyskytují napříč různými prostředími



# Tektonický kontext

- nejzásadnější parametr určující vznik sedimentárních pánví / hornin
- Určuje základní charakter sedimentárních pánví: např. pánev na stabilním kratonu, zaoblouková pánev, riftová pánev ...
- Dále určuje vrcholně významné parametry modulující vznik sedimentů:
  - subsidenci, výzdvih, seismickou a vulkanickou aktivitu

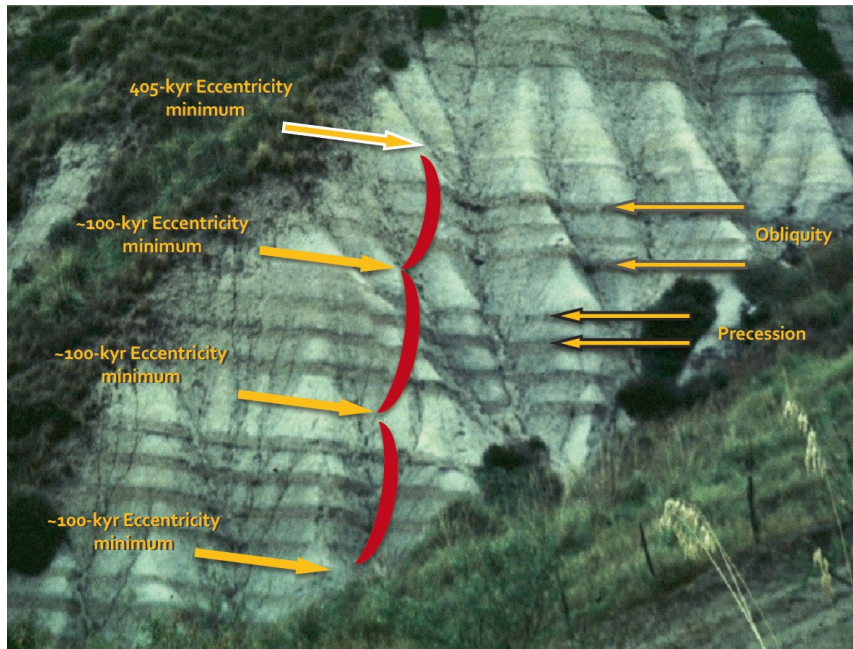


[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Cross-section\\_of\\_a\\_subduction\\_zone\\_and\\_back-arc\\_basin.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Cross-section_of_a_subduction_zone_and_back-arc_basin.jpg)

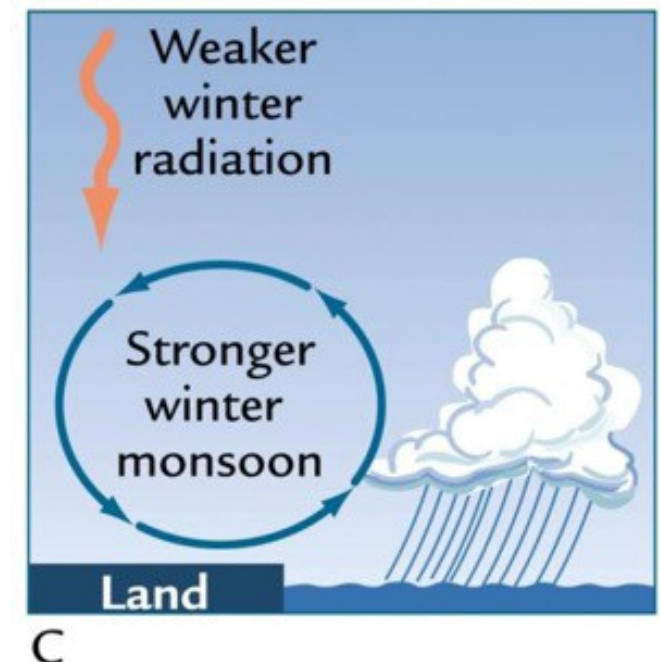
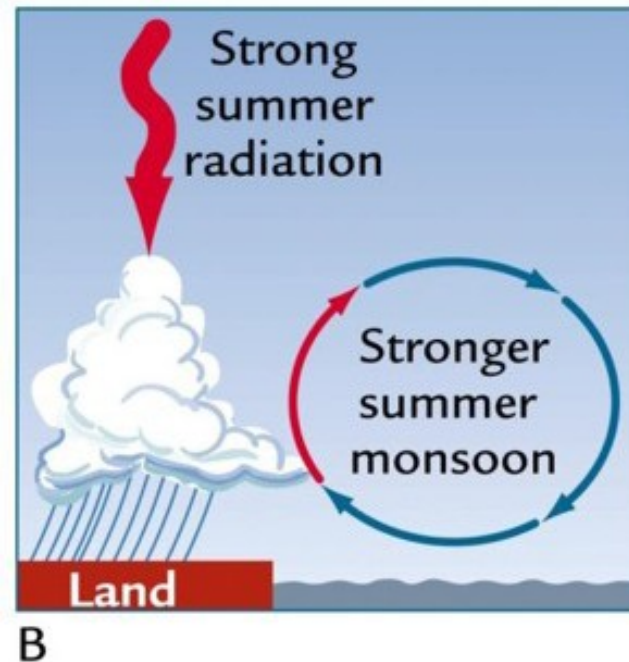


# Klima

- Hlavní faktor ovlivňující kvalitu subaerického zvětrávání, eroze
- Silně ovlivňuje složení klastických hornin
- Ovlivňuje také množství materiálu transportovaného do pánví
  - zvýšení odnosu a splachu např. během pluviálů
  - nízký přínos klastik např. umožňuje vznik vápenců, evaporitů, fosfátů ...
- Milankovičovy cykly – orbitální cykly - cyklostratigrafie (orbitální ladění – astrochronometrie)



Precesní maxima - silnější letní monzuny v tropické Africe, větší odvodnění Nilu



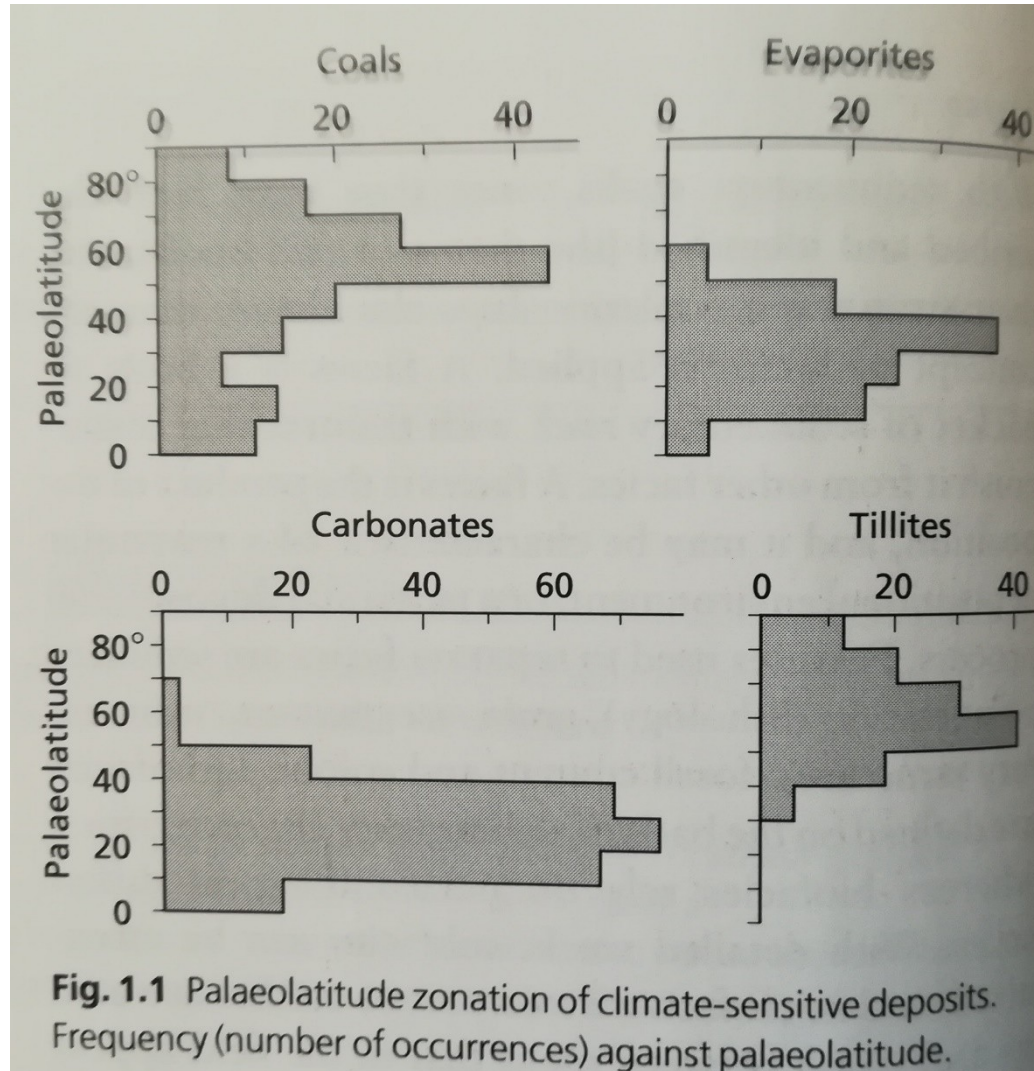
# Klima

- Řídí míru organické produktivity ( $C_{org}$ ) v oceánech i sladkých vodách
  - vysoká úroveň bioproduktivity je významná pro vznik vápenců, fosfátů, křemičitých sedimentárních hornin, uhlí, ropy ...



# Klima

- Řídí vznik sedimentů, které jsou vázány na určité klimatické pásy – např. vápence, evapority, uhlí ...



# Facie

- Sedimentární facie je těleso / soubor sed.hornin se znaky, které ho odlišují od okolních hornin
- facie je „otiskem“ uplatněného depozičního mechanismu, prostředí sedimentace, jeho bioty ...
- **Faciální znaky:** složení (litologie), zrnitost a další strukturní znaky, textury, obsah fosilií, barva ...

**Litofacie** (litologické znaky) vs. **Biofacie** – (paleontologické znaky)



<https://www.wired.com/2007/08/friday-field-foto-28-thin-bedded-turbidites/>



alamy stock photo

PC1JE1  
www.alamy.com

<https://www.alamy.com/cross-bedding-navajo-sandstone-at-horseshoe-bend-glen-canyon-national-recreation-area-page-arizona-image213936745.html>



# Facie

- Příklady přístupů k vymezení facií:

## *objektivní*

- strukturně-texturní znaky: facie šikmo zvrstvených hrubozrnných pískovců
- složení: arkóзовé facie
- biofacie (tafonofacie): biofacie s hojnými silicifikovanými kmeny jehličnanů

## *interpretativní*

- depoziční proces: proudové povodňové facie
- depoziční prostředí: fluviální korytové facie



# Facie

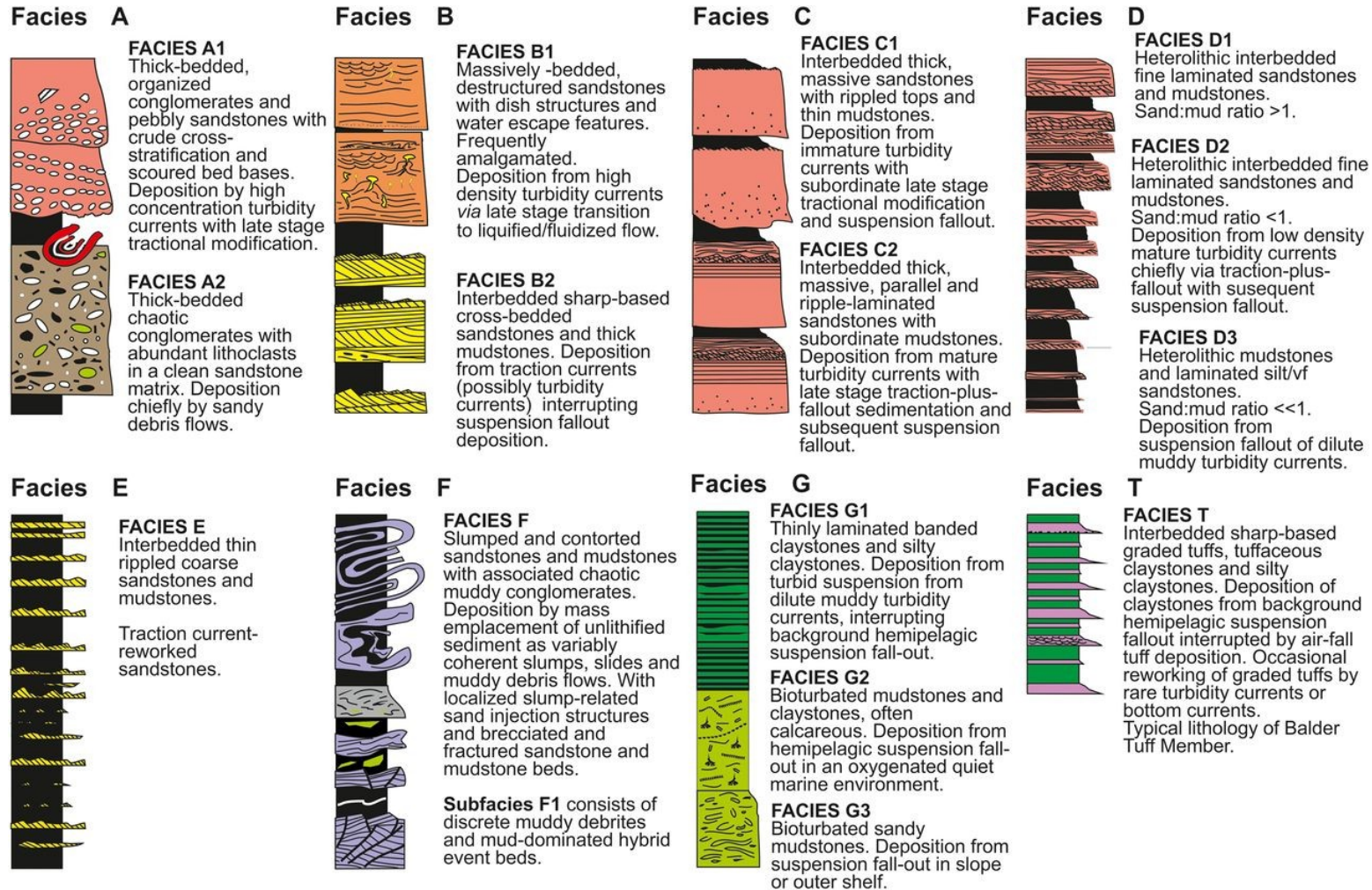
- detailnějším studiem a klasifikací můžeme vyčlenit **subfacie** a **mikrofacie** (především u karbonátových horniny)
  - často až na základě použití laboratorních metod mikroskopie





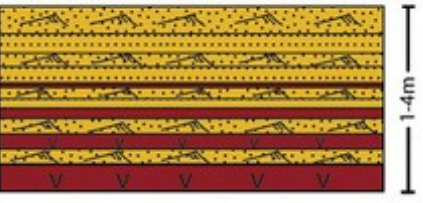
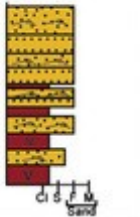
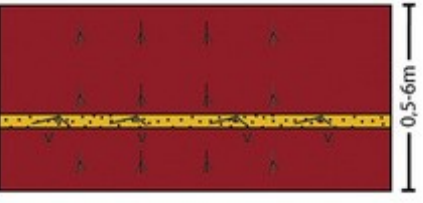

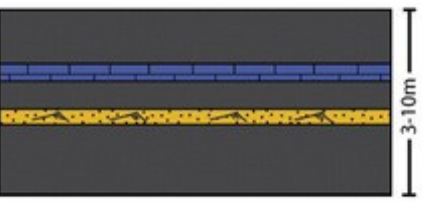
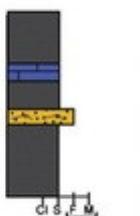


# Facie

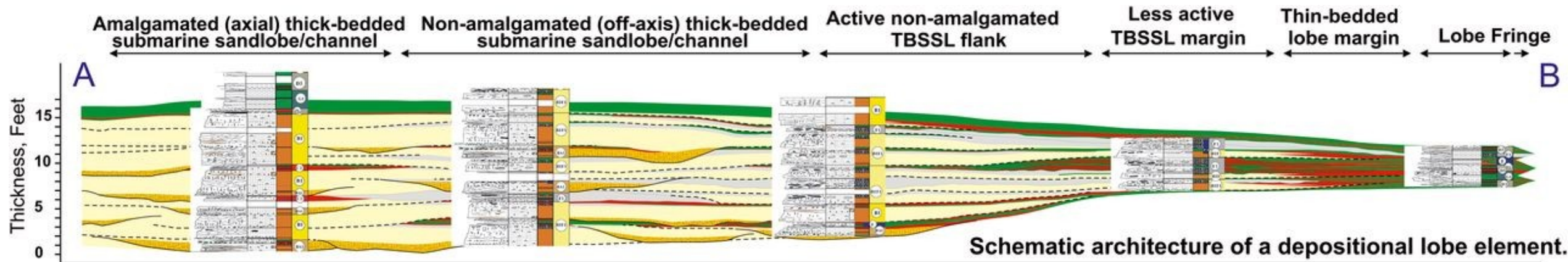
- **Faciální asociace** – různé, avšak geneticky spjaté facie, běžně se vyskytující společně ve stratigrafickém (a tím i laterálně souvisejícím) smyslu

= sledy facií běžně vytvářejí x-metrové cykly, které se opakují v určitých vzorech (**parasekvence**)

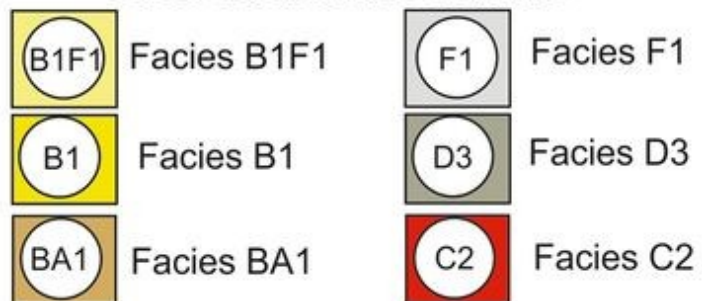


Facies association	Facies architecture and geometry	Vertical log	Description	Lithofacies	Interpretation
Multistorey, amalgamated fluvial channel			Fine- to very coarse-grained sandstones, 1.5 to 7 m thick; basal erosional surface with up to 1.5 m of relief; composed of frontal or lateral accretion macroforms and sand bedform.	Gm, Gt, St, Sp, Sl, Sh, Sr	Low-sinuosity, braided fluvial channel belt.
Single storey, fluvial channel			Fine- to coarse-grained sandstones, isolated ribbon sandstone bodies; 1 to 3 m thick; sometimes forming a fining-upward succession.	Gm, St, Sp, Sr	Fixed, anastomosing fluvial channel.
Crevasse Splay			Very-fine to fine sandstones interlayered with mudstone layers; tabular sheet-like bodies, 1 to 4 m thick; desiccation cracks are common; coarsening and thickening-upward succession.	Sh, Sl, Sr, St, Fmr	Crevasse splays.
Floodplain			Massive red mudstones; abundant paleosol development; sheet-like or irregular tabular bodies; 0.5-4 m thick.	Fmr, Fmg, Flg, Sr	Well-drained to poor drained (more rare) floodplain.
Lacustrine			Black, organic-rich mudstones, rarely interlayered with massive or ripple cross-laminated fine-grained sandstones and microbial carbonates; common bivalve and ostracode fossils, sometimes forming bioclastic laminae; tabular package, 3-10m thick.	Florg, Flg, Sr, Sm	Anoxic, perennial, shallow lake.

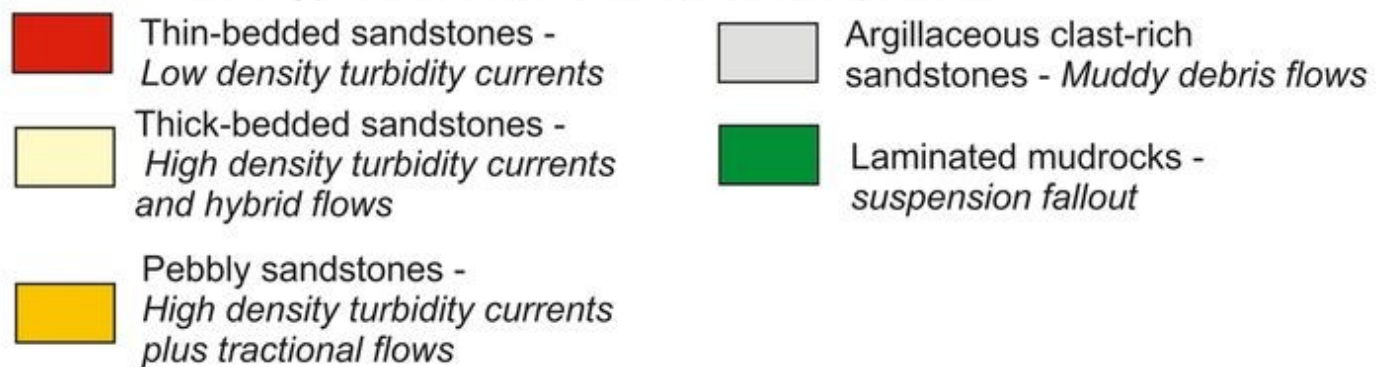




### Core Facies Associations



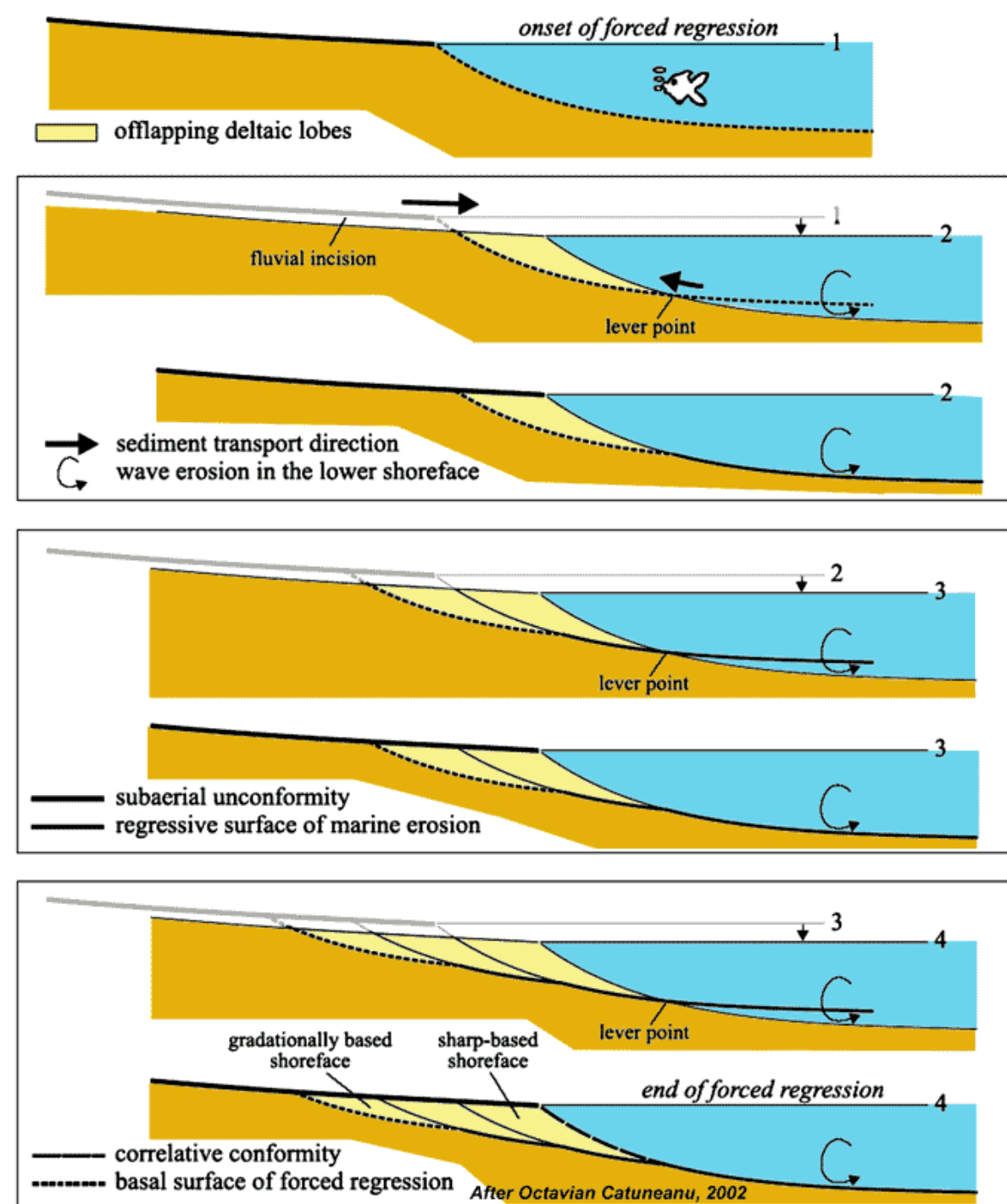
### Lithotype and interpreted depositional process





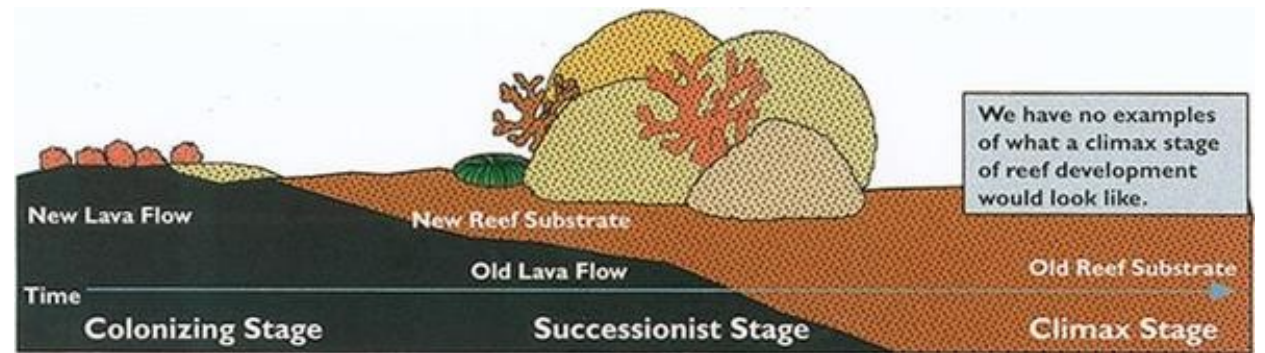
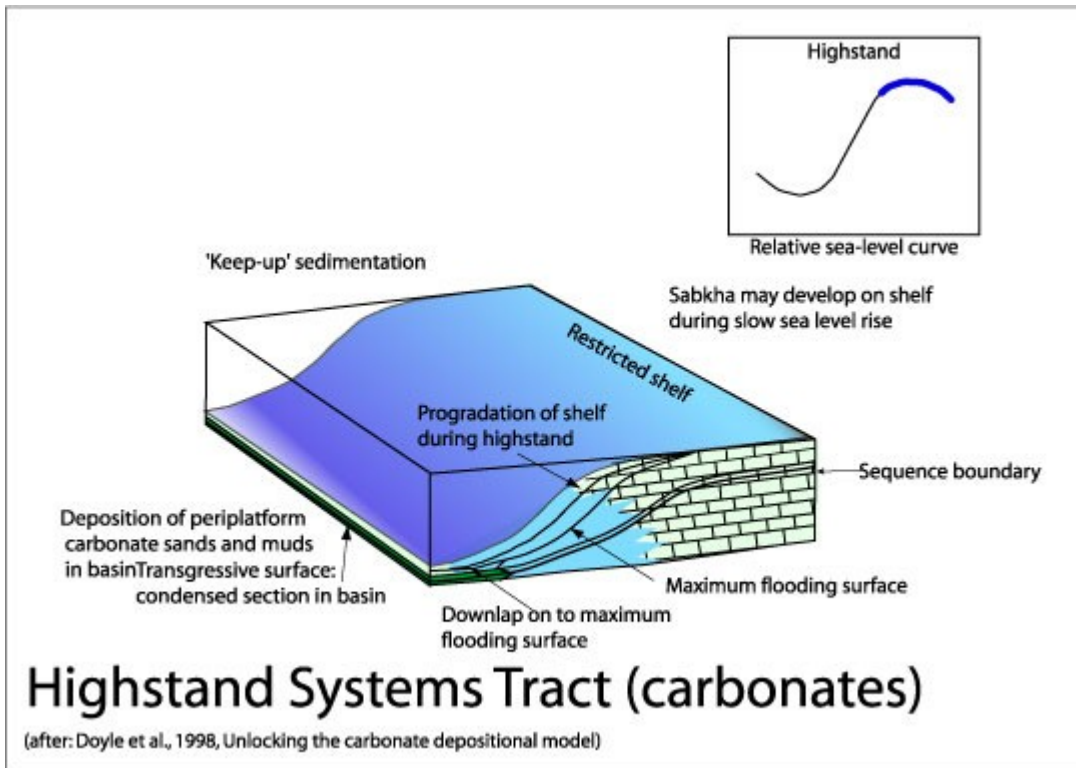
# Facie

- změny facií -  
- změnou externích podmínek (např. eustázií, klimatem, tektonikou)
- = *alocykly* – **nucené** změny (značný prostorový dosah / globální)



# Facie

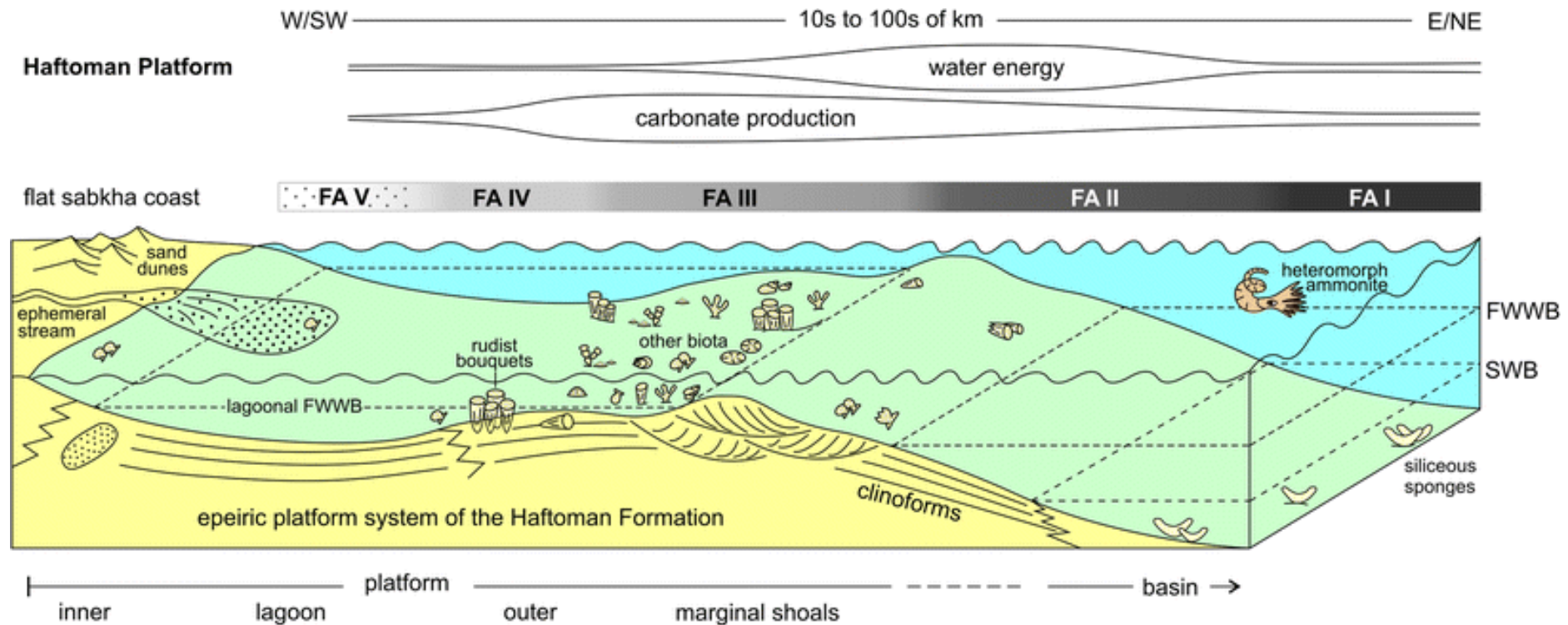
- změny facií
    - bez změn externích podmínek, vliv změny geometrie sedimentárního tělesa (např. vývoj biogenního útesu, progradace delty při stálé hladině)
- = *autocykly* (lokální, jen v rámci pánve / její části)



<http://marineandthedolphins.weebly.com/uploads/2/4/2/3/24230887/6958787.jpg?599>

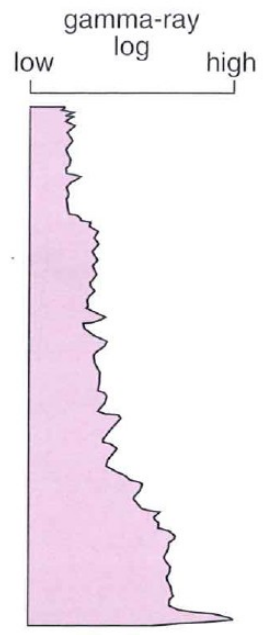
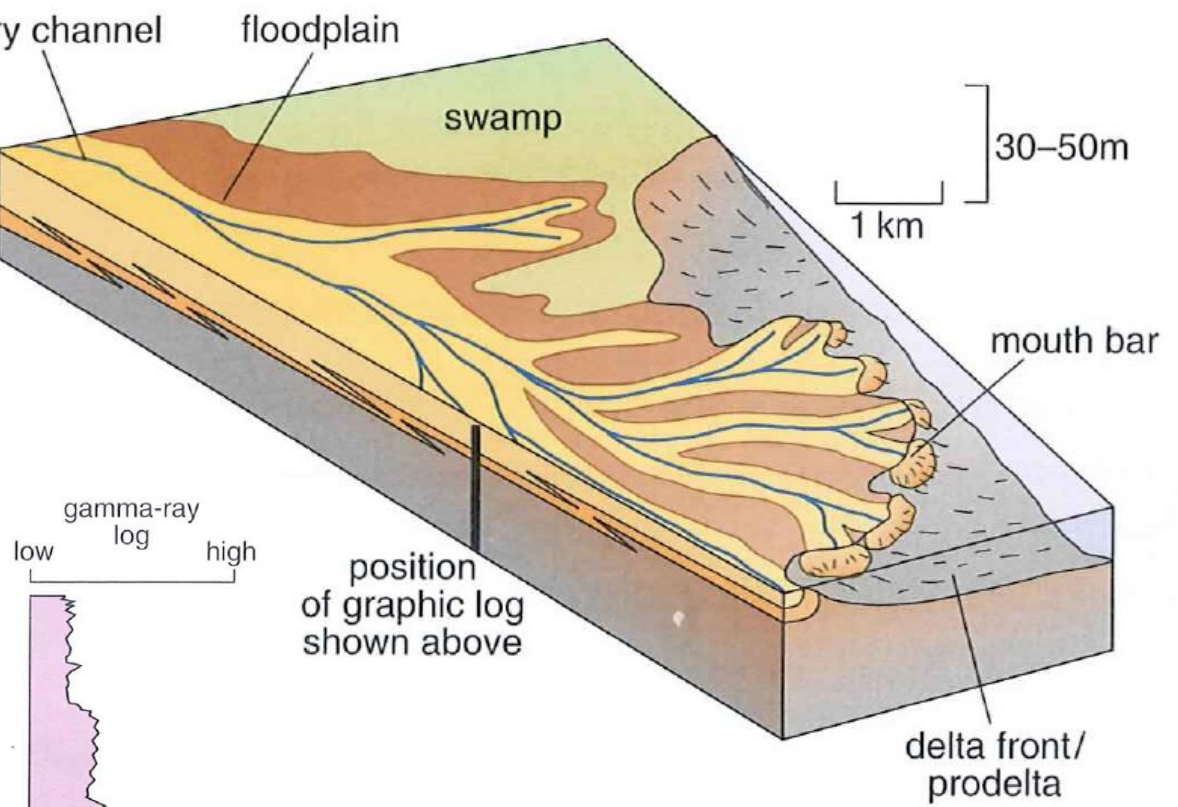
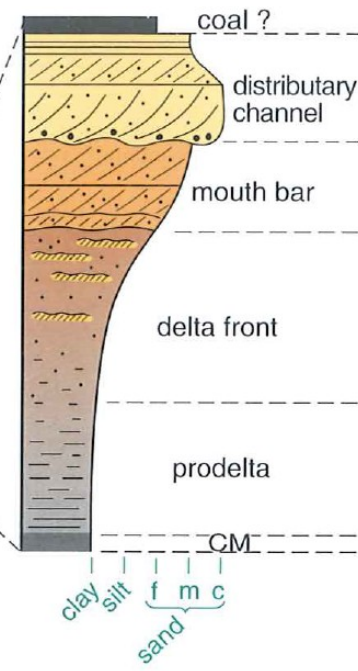
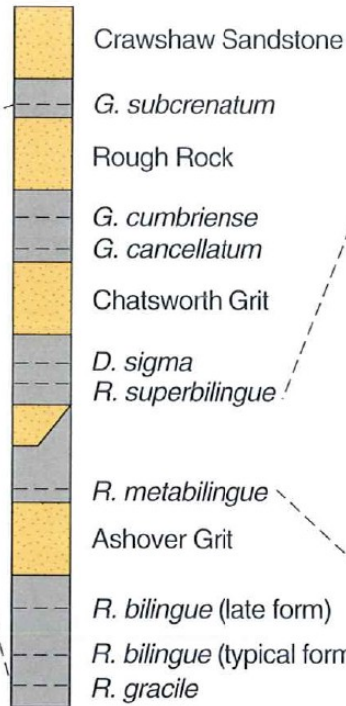
# Faciální modely

- Faciální asociace indikují prostředí vzniku
- Na základě studia recentních i fosilních facií, prostředí a procesů vznikají faciální modely
- Vysvětlují laterální i vertikální vztahy těles – **Waltherovo pravidlo**
- Dovolují predikci geometrií a rozšíření facií a jejich paleoenvironmentální interpretace





	SERIES	STAGE	
Upper Carboniferous	Westphalian	A	
		Namurian	Yeadonian
	Marsdenian		
	Kinder-scoutian		
	Alportian		
	Chokierian		
	Arnsbergian		
	Pendleian		
	Lower Carb.	Dinantian	Brigantian



position of graphic log shown above

# Změny úrovně mořské hladin

- Výrazně ovlivňují vznik sedimentárních facií a posuny faciálních pásů
- Změny úrovně mořské hladiny jsou spojené s
  - 1) **klimatem** – často globální – eustatické (glacioeustáze, krátkodobé změny v řádu  $10^5 - 10^7$  let
  - 2) **tektonikou**
    - *lokální* (rychlost subsidence/výzdvihu vs. množství přinášeného sedimentu,  $10^5 - 10^7$  let)
    - *regionální* – nadregionální – např. rifting, termální subsidence  $10^7$  let
    - *globální* – eustatické (tektonoeustáze, dlouhodobé změny v řádu  $10^8$  let)

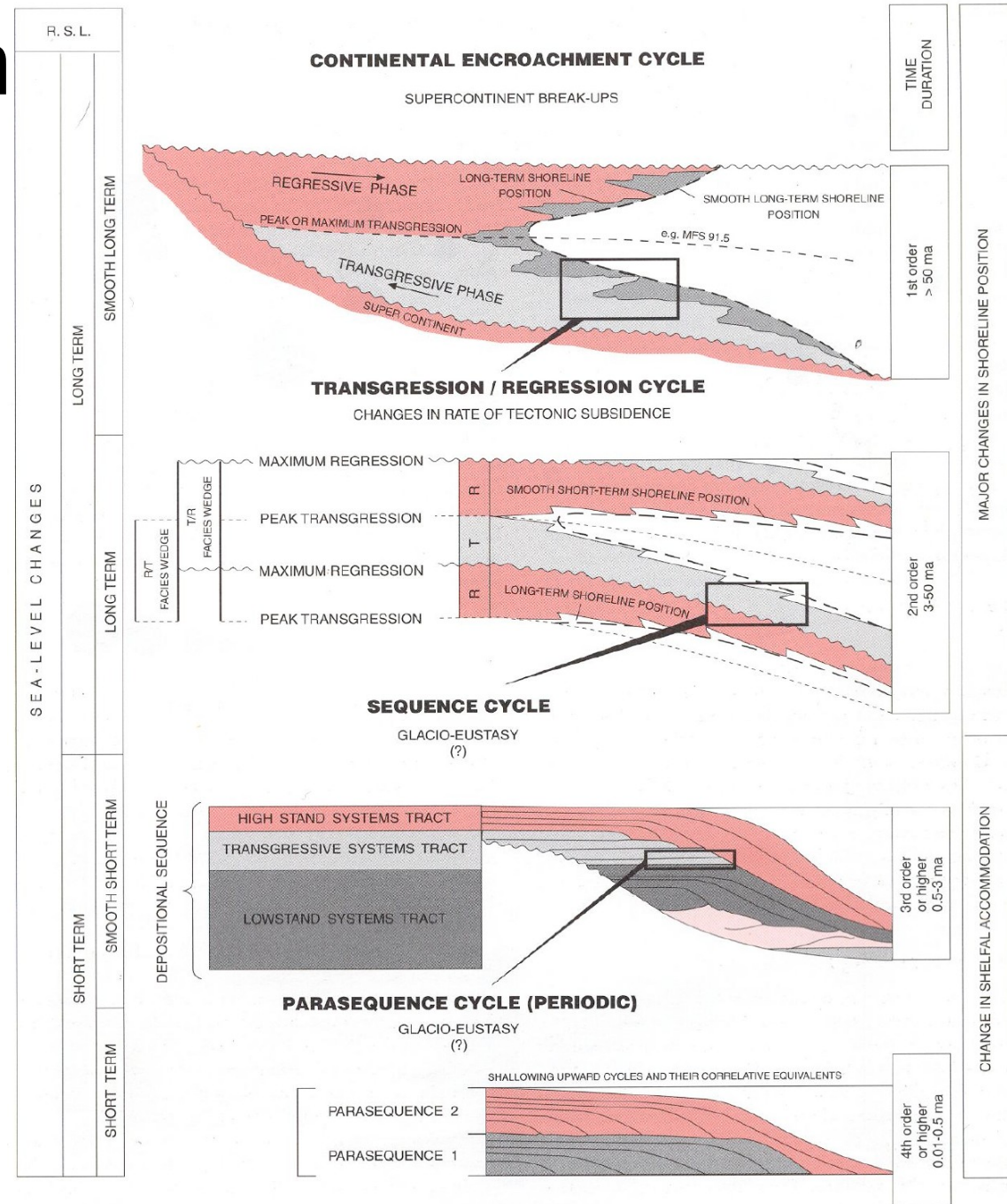


Fig. 2.9 Hierarchy of stratigraphic cycles (after Duval *et al.*, 1992)



# Sekvenční stratigrafie

- Změny výšky hladiny 2. a 3. řádu nutí vznik sedimentárních sekvencí
- Změny výšky hladiny 4. řádu - parasekvence

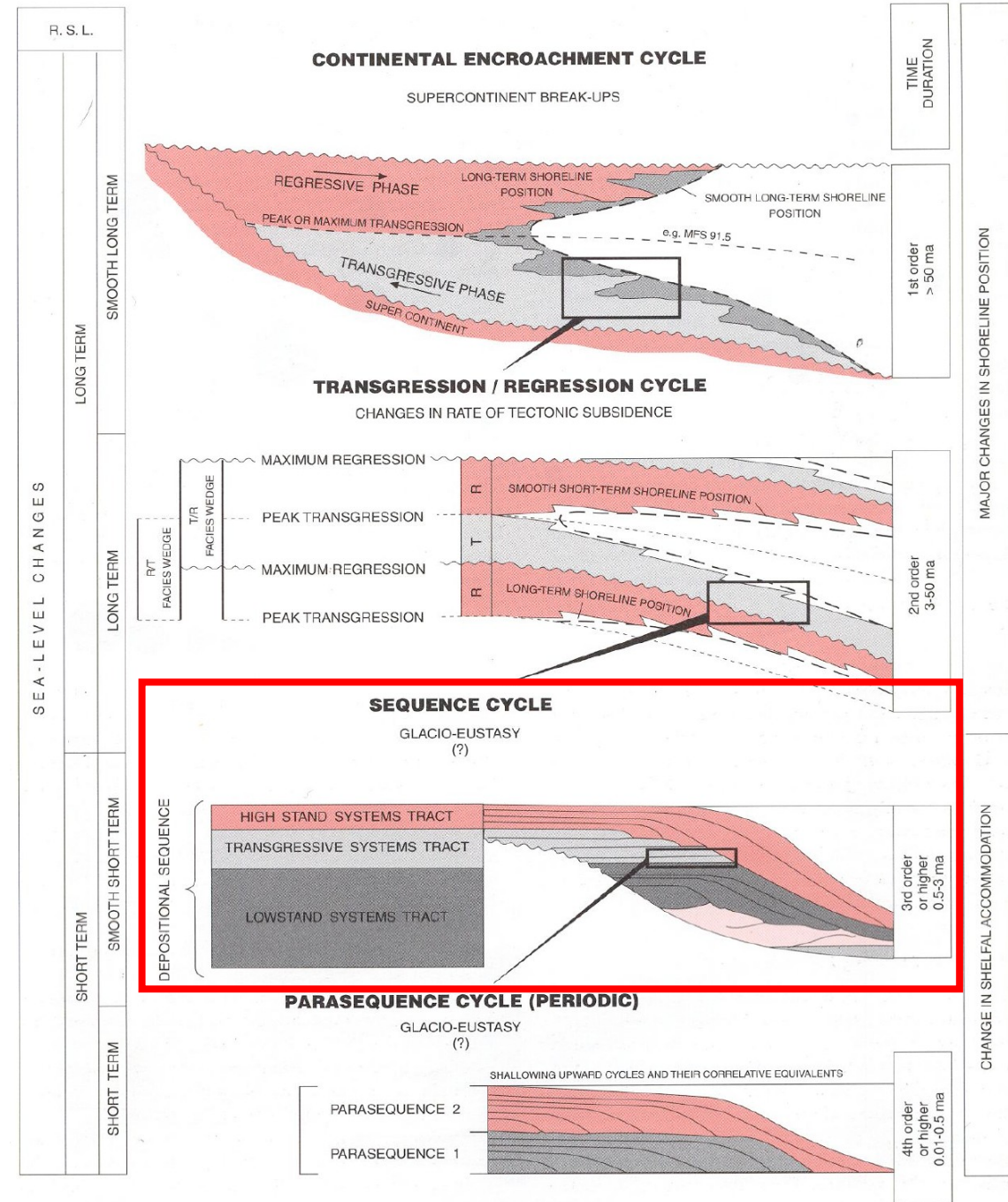
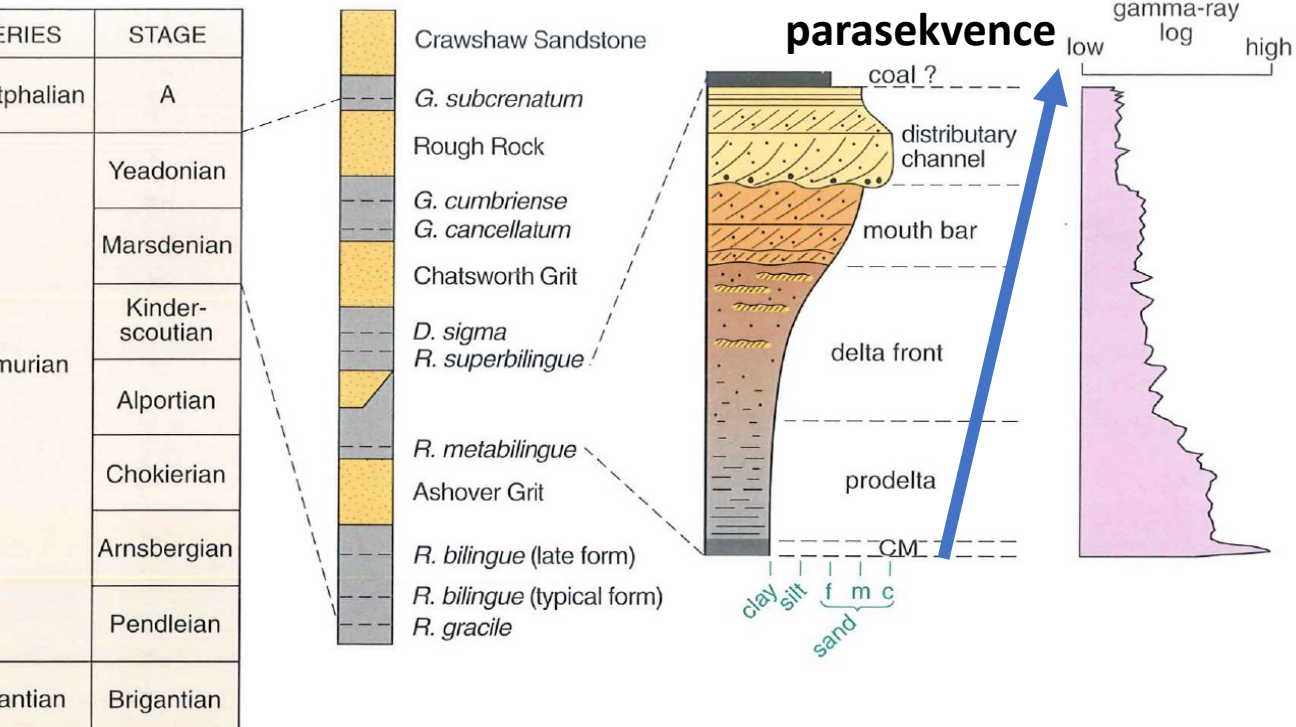
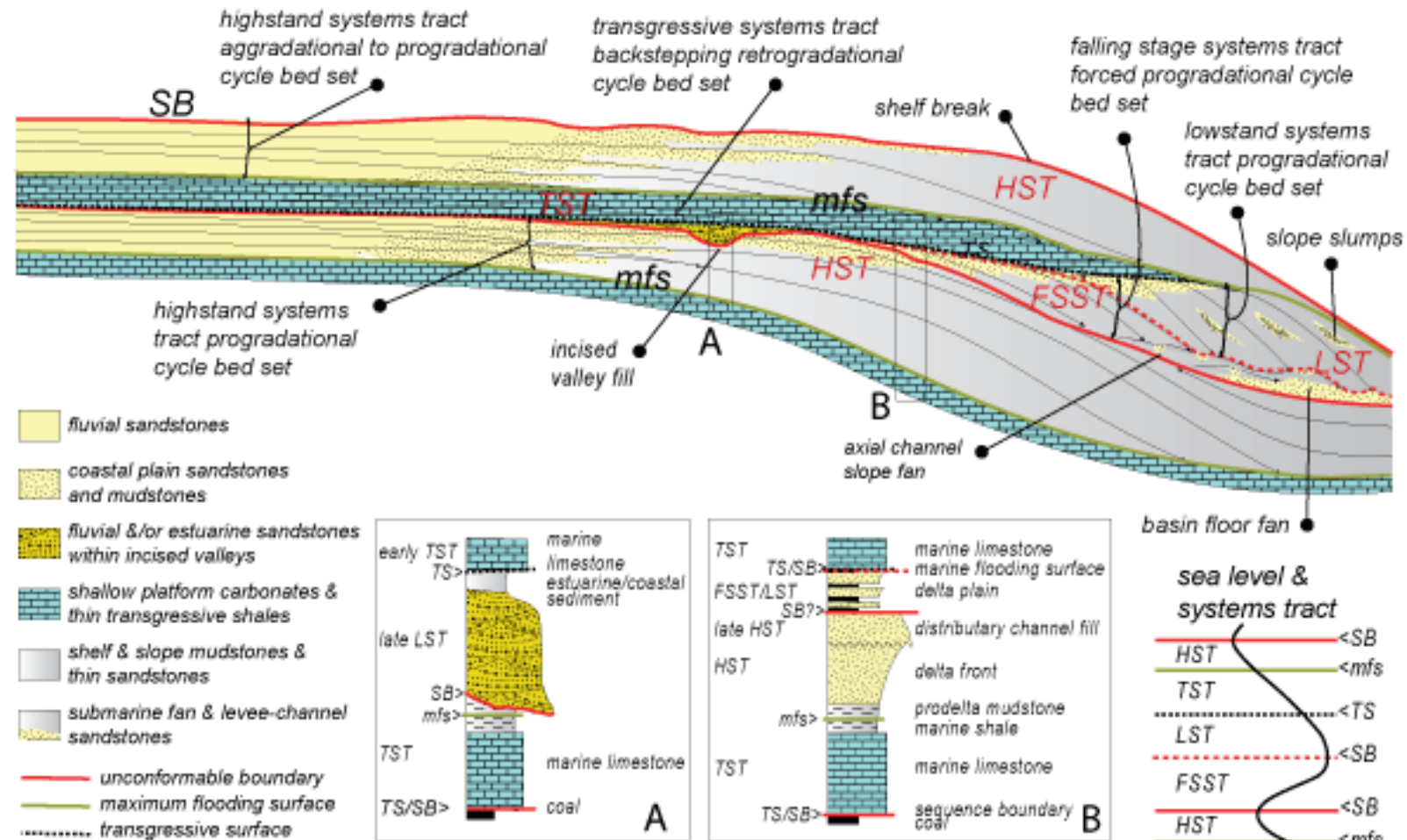


Fig. 2.9 Hierarchy of stratigraphic cycles (after Duval *et al.*, 1992)



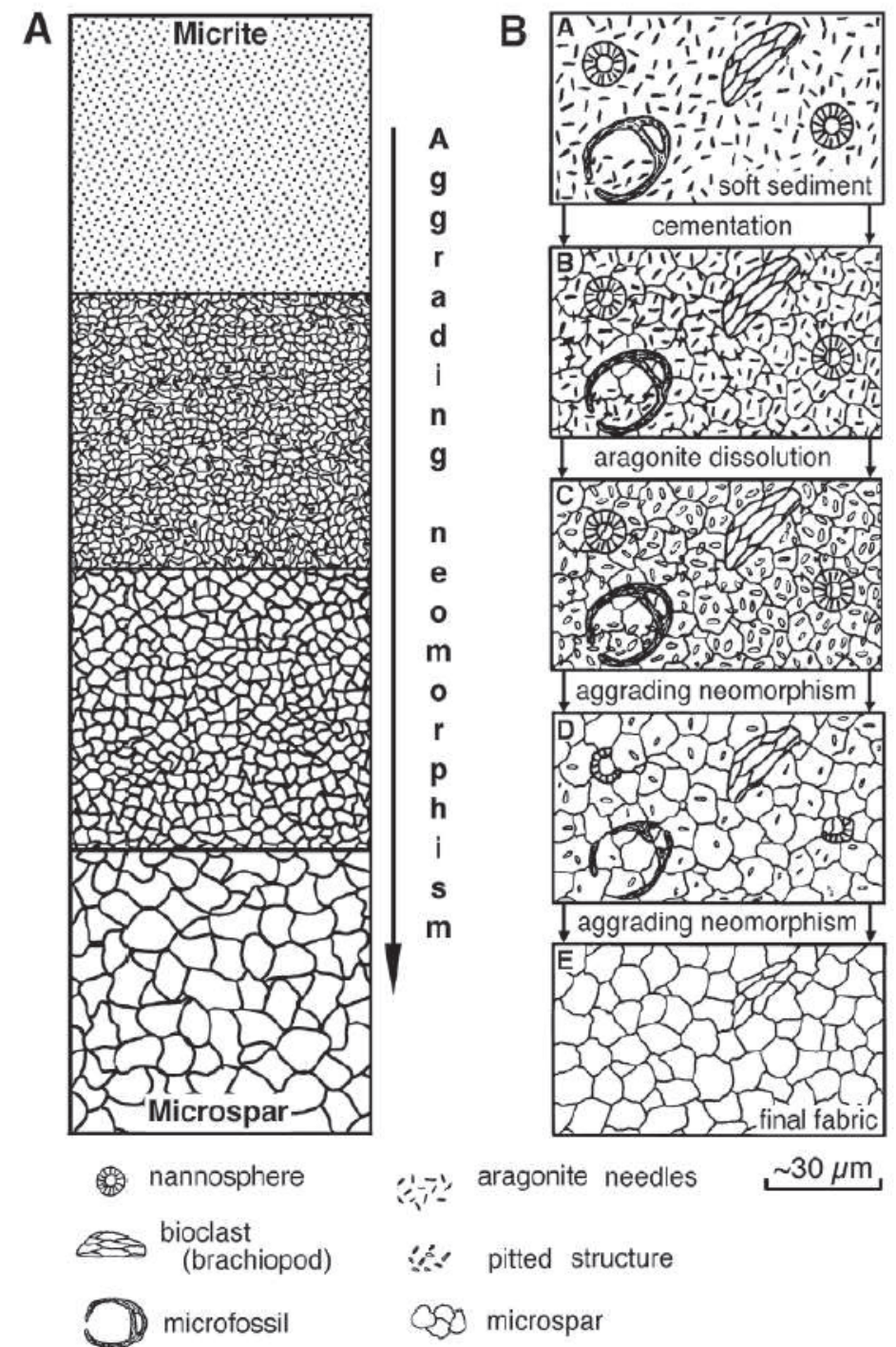
# Sekvenční stratigrafie

- sedimentární sekvence = soubory geneticky spjatých sedimentů, oddělené nekonformitami a korelativními konformitami (**povrchy**, *time lines*)
- Soubory sedimentů – trakty – vzniklé za:
  - 1) nízké hladiny
  - 2) růstu hladiny
  - 3) vysoké („ustálené“) hladiny
- mezi nimi klíčové povrchy, nad kterými dochází ke změnám vzorů faciálních asociací
  - progradace
  - agradace
  - retrogradace těles sedimentů



# Diagenese

- Sekvence procesů, které probíhají v horninovém prostředí od usazení nezpevněného sedimentu, přes vznik zpevněné horniny, až do nástupu metamorfózy
- *Raná diagenese*  
- mezi momentem uložení a mělkým pohřbením
- *Pozdní diagenese*  
- během hlubokého pohřbení a následného výzdvihu



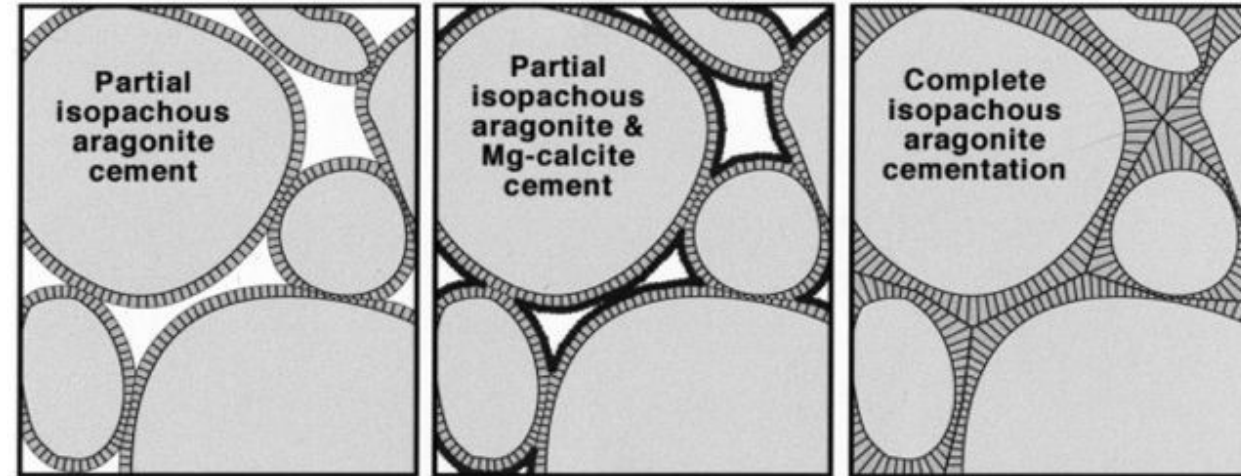


# Diagenese

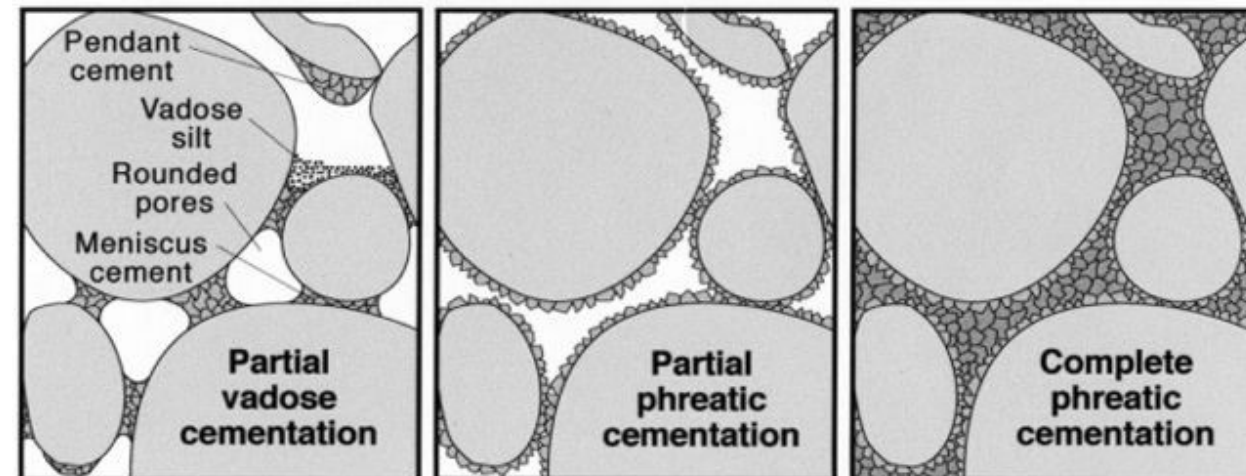
- Znalost diagenetických procesů je důležitá protože mohou výrazně měnit složení a stavbu sedimentu  
(někdy mohou zcela zastřít původní stav)

- Ovlivnění porozity a permeability
- klíčové parametry určující potenciál hornin být rezervoáry ropy, plynu nebo vody

## Marine Carbonate Cement Fabrics



## Meteoric Carbonate Cement Fabrics



# Metody - terén

- Pečlivé pozorování a jeho přesné zaznamenání
  - poloha + popis + náčrt + fotografie + odběr vzorku
- Znalost diagnostických znaků sedimentů umožní se na ně při pozorování zaměřit
  - potřeba „*vědět, co, kde a jak hledat*“

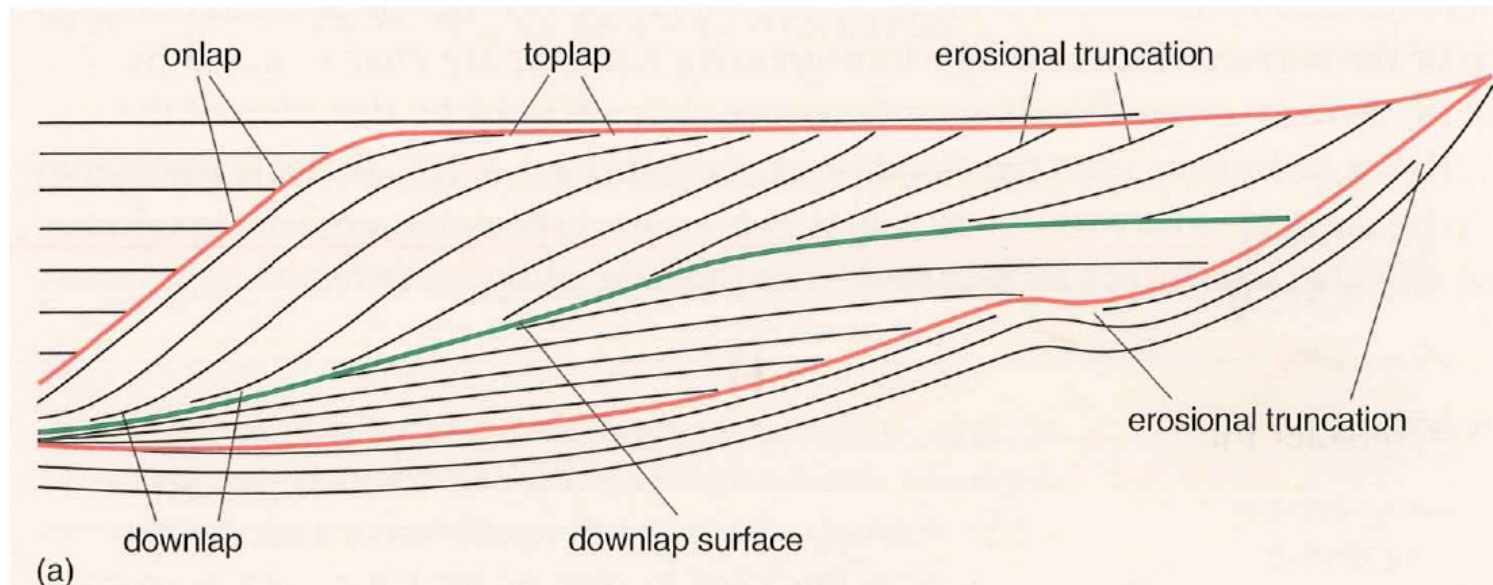


# Metody - terén

- Potřeba prvotní identifikace litologie (např. za pomoci lupy) – složení, struktura (hlavně zrnitost), fosilie
  - tyto atributy mohou být později přesně kvantifikovány v laboratoři

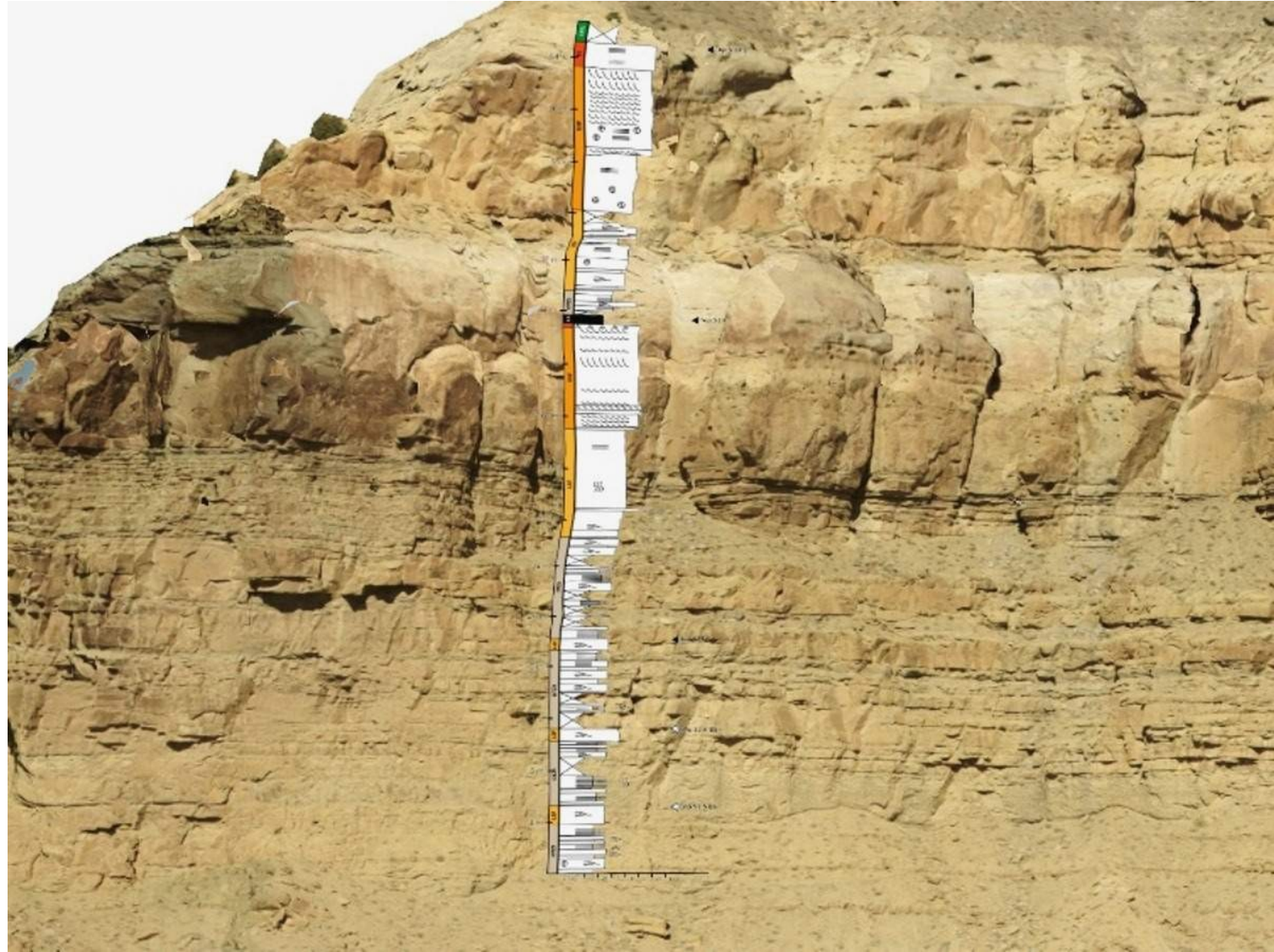
# Metody - terén

- Textury (a mnohé struktury) lze nejlépe studovat přímo v terénu, kvůli jejich velikosti + paleoproudové informaci
- Geometrie těles – onlapy, offlapy, downlapy (důležité parametry povrchů sekvenční stratigrafie) – nejlépe pozorovatelné („seismic-scale“) na velkých odkryvech v horách



# Metody - terén

- Vertikální popis a zaznamenání sekvence vrstev  
= kreslení a popis profilů / sedimentárních logů; profilování / logování
- Popis bed-by-bed, zaměření mocnosti každé vrstvy, jejího složení, zrnitosti ...
- Potřeba sledovat laterální stálost těles (geometrii) – mnoho těles může vyklíňovat (čočkovitá tělesa)





Location: Howick Foreshore,  
Northumberland. Grid ref. NU 259179

Formation: Upper Limestone  
Group, Namurian, Carbonif.

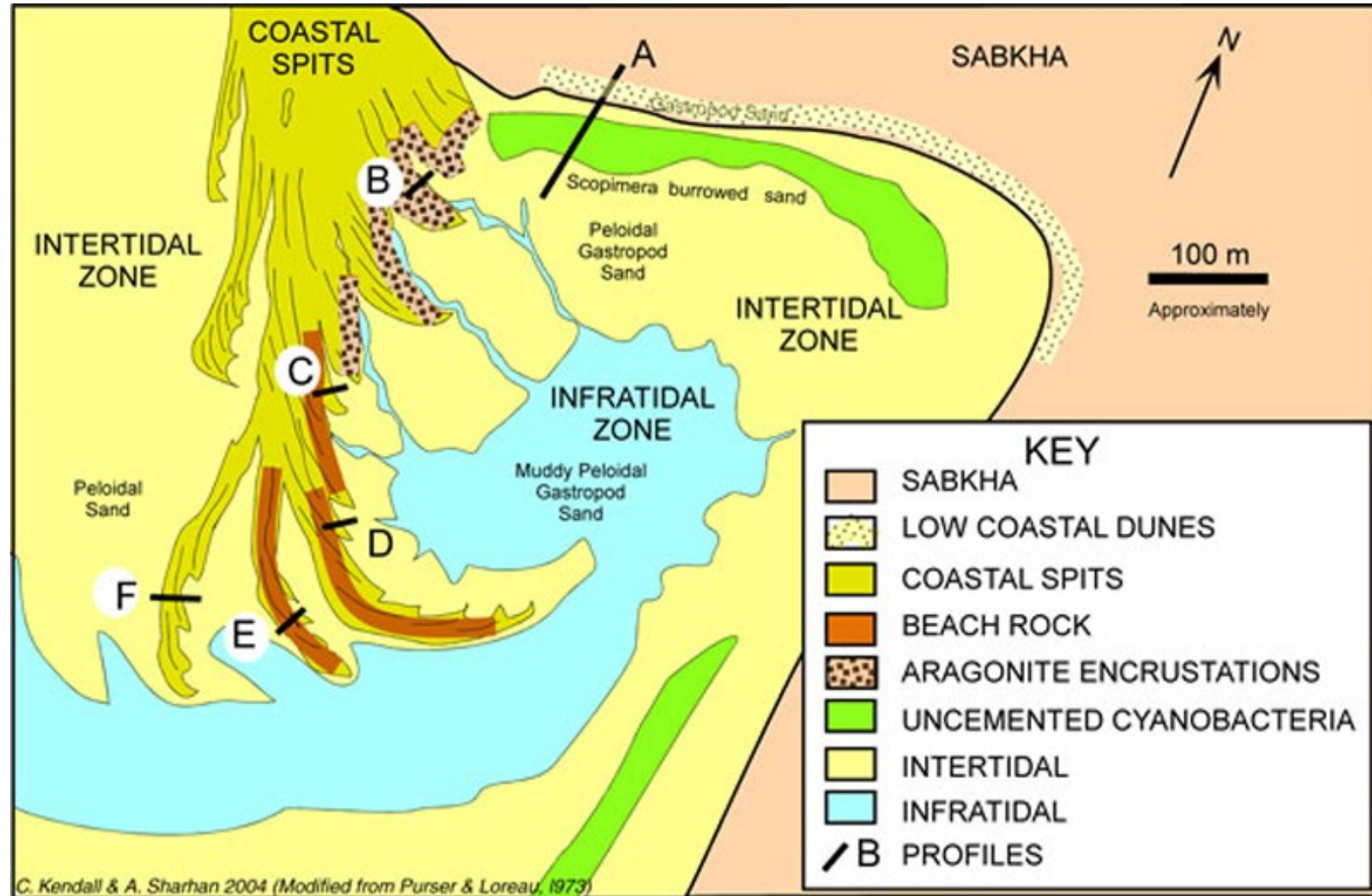
Date:  
1/4/80

metres above base	thickness (m)	bed number	lithology	texture			sedimentary structures	palaeocurrents	fossils	colour	remarks
				clay & silt	sand f m c	gravel					
12	1.3	8							dk. gr	Spec. 9.10	
11	0.3	7							bl	coal + pyrite	
10	1.5	6							dk. gr	photo 4	
9	0.5	5							yell/br.		
8	1.4	4							yell/br.	spec 7/8 Impersis conglom.	
7	1.2	3							gr.		
6	2.1	2							yell/br.	tabular sand body	

SCALE	LITHOLOGY	LIMESTONES										TEXTURE Grain size and other notes (structures, palaeocurrents, fossils, colour)	PROCESS INTERPRETATION	ENVIRONMENT INTERPRETATION
		MUD		SAND			GRAVEL							
		clay	silt	vf	f	m	vs	grain	rud & peb	cob	boul			
5													Low energy	
4												Coal		Vegetated Vegetated floodplain
3												Thin fine sandy laminae	Low, fluctuating energy	
3												Ripples		
2												20cm sets	Straight dunes	
2												60cm sets Palaeoflow 120, 175 150, 160	Arcuate dunes	Scour and fill of a channel (river or delta)
1												Polymict	Scoured surface	Energy decrease
0												Dark	Low energy	

# Metody - terén

- Mapování rozšíření facií
- Pomáhají pochopit vztahy mezi faciemi ve větším měřítku



# Metody - terén

- Ideální je studované lokality navštívit opakovaně
- Často je pak zjištěno, nalezeno více a více informací, „člověk se rozkouká“ a později vidí více a více znaků (od prvotní rekognoskace lokality až např. po detailní studium cyklicity)
- Zároveň je potřeba se snažit pokaždé zdokumentovat lokalitu tak, jako bychom ji už podruhé nikdy nemohly navštívit (tím víc to platí v činných lomech, horském a jiném geologicky dynamickém prostředí)



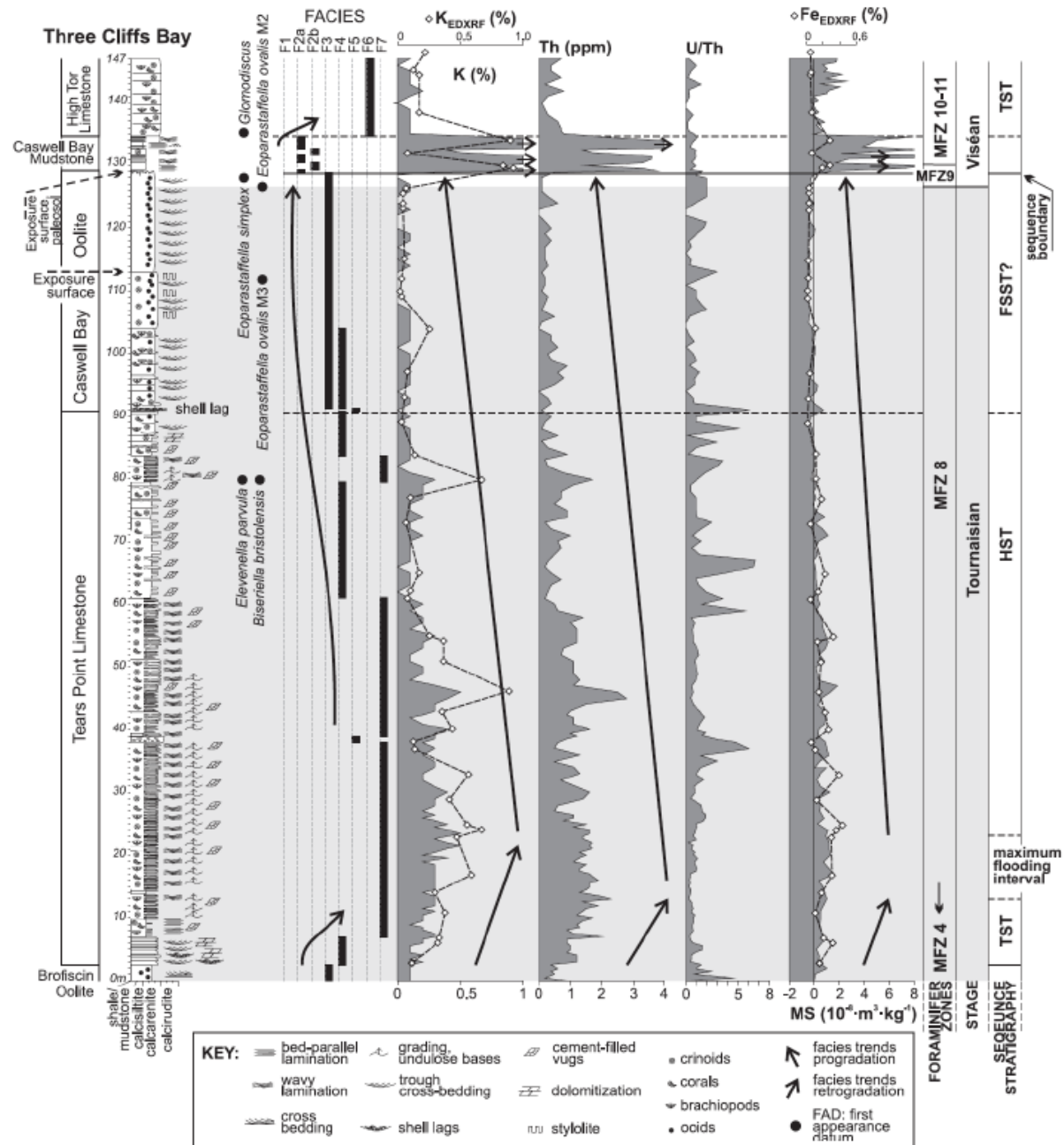
# Metody - terén

- Sběr fosilií, ichnofosilií ...



# Metody - ter

- Gamaspektrometrická metoda - měření nestabilních izotopů (Interpretace / korelace)



Obrázek 20. Progradační a retrogradační trendy facií rampových karbonátů jižního Walesu, tvary spektrálních gama křivek a interpretace systémových traktů (transgresivní, TST; vysoké hladiny, HST a padající hladiny, FSST). Upraveno podle: Bábek et al. (2013).

# Metody - laboratoř

- Práce se vzorky:
  - detailnější makropopis
  - zhotovení nábrusů – leštěním nebo leptáním jsou lépe pozorovatelné mnohé znaky, složení ....
  - nezpevněný sediment – síťovací a další zrnitostní analýzy, separace těžkých minerálů
  - výbrusy – umožňuje velmi detailní zhodnocení studovaných hornin

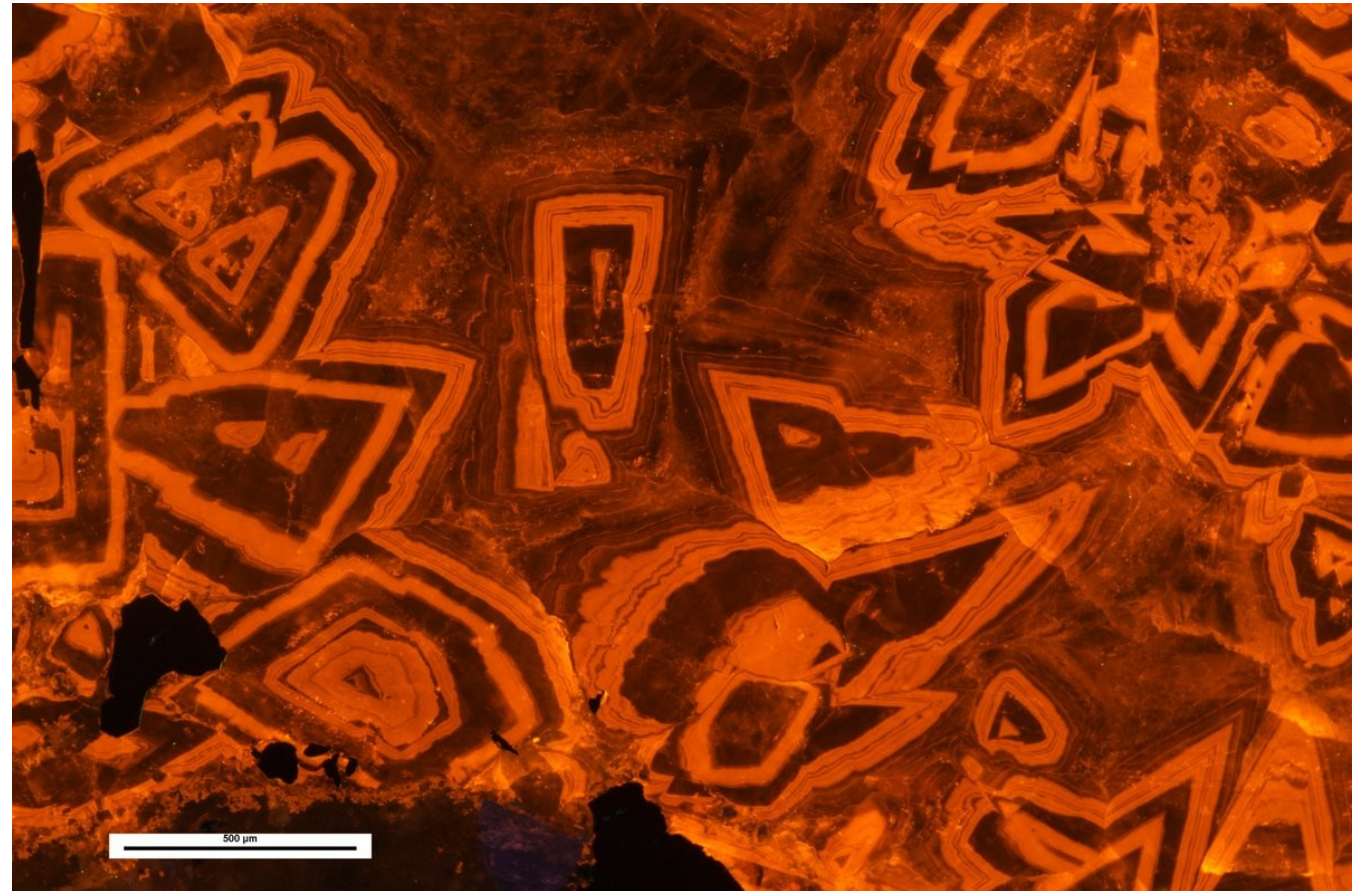


# Metody - laboratoř

- výbrusy – umožňují velmi detailní zhodnocení studovaných hornin
  - kvalitativně: identifikace zrn (typů minerálů, hornin, zbytků bioty), základní hmoty, cementu, diagenezi ...
  - kvantitativně: point-counting = metoda počítání bodů za účelem zjištění procentuálního zastoupení komponent horniny (důležité pro klasifikaci podle složení u pískovců: q-pískovce : droby : arkózy)

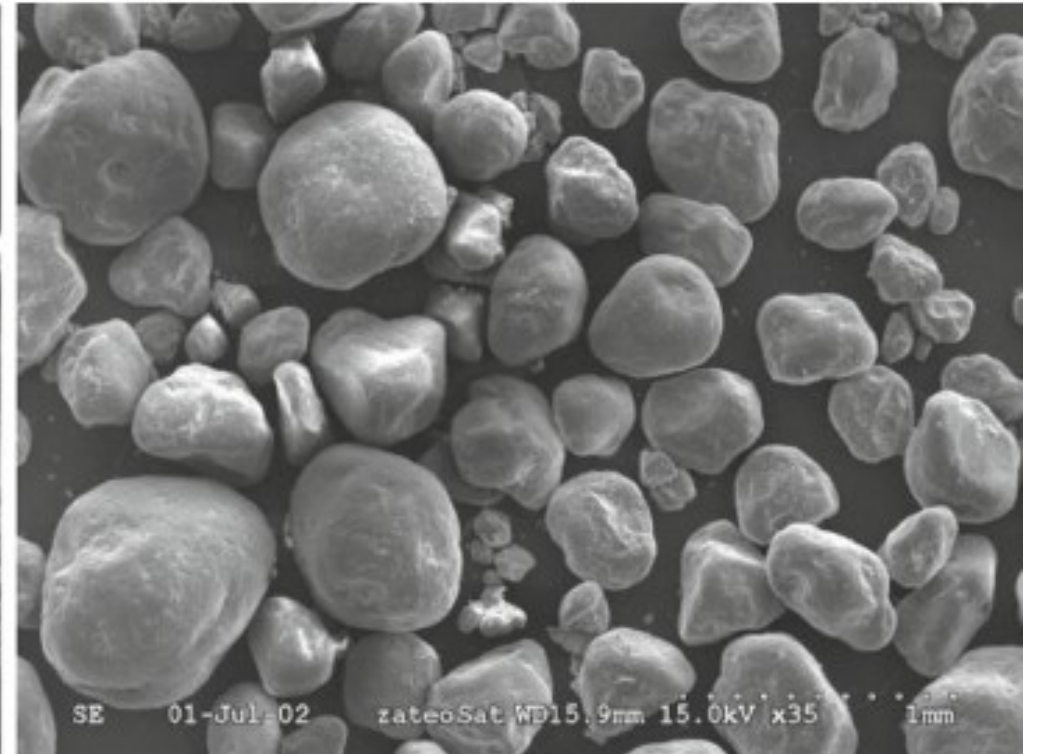
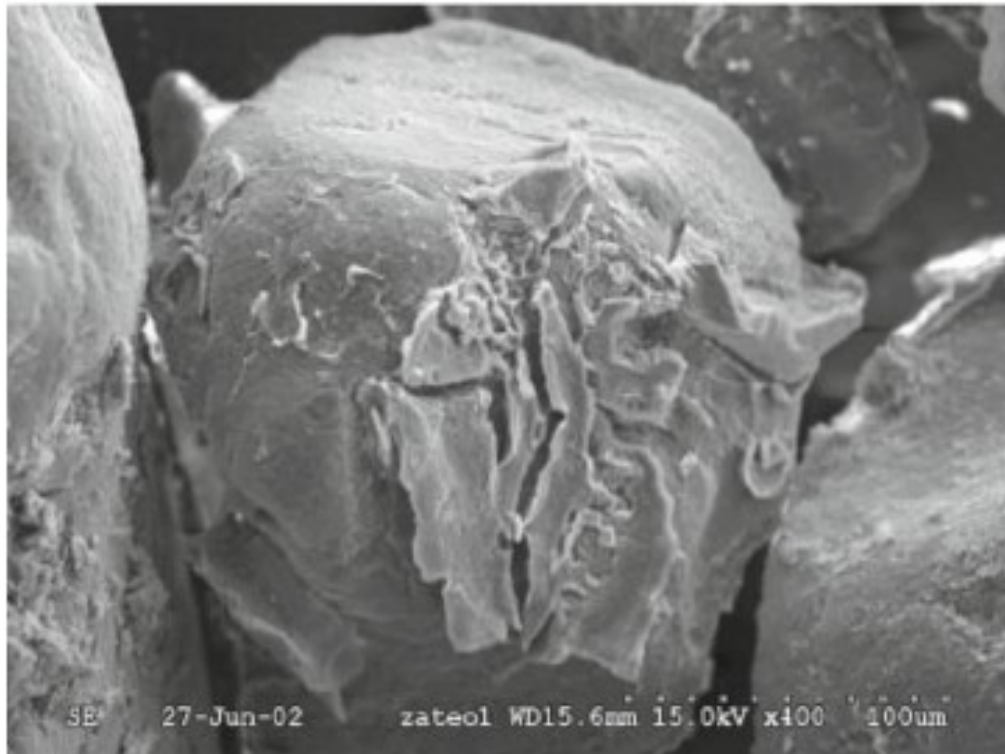
# Metody - laboratoř

- Katodoluminiscence (na leštěných výbrusech) – využívá luminiscence vyvolané bombardováním povrchu materiálu elektrony
  - studium cementů
  - studium organické hmoty



# Metody - laboratoř

- Elektronová / skenovací mikroskopie (SEM)
  - především pro jemnozrnné materiály (od 0,1 mikrometru)





# Metody - laboratoř

- Prášková rentgenová difrakce
  - zjištění mineralogického složení
  - např. využíváno pro sledování změn přítomnosti jílových minerálů v sedimentech

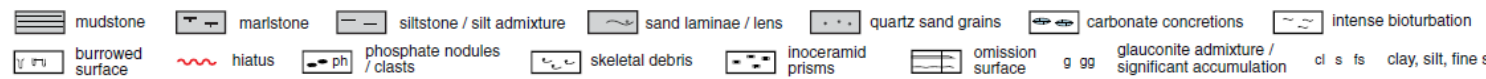
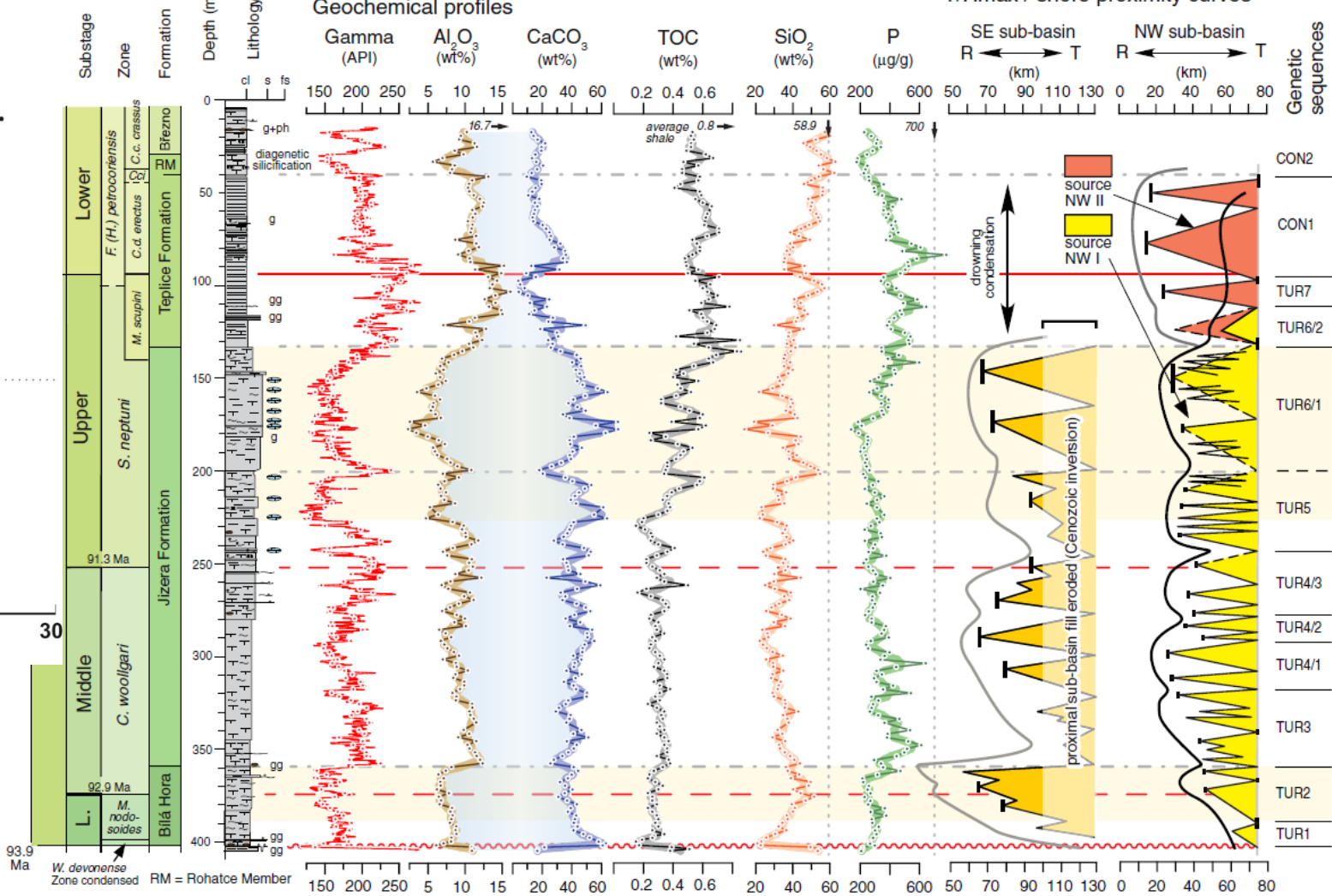
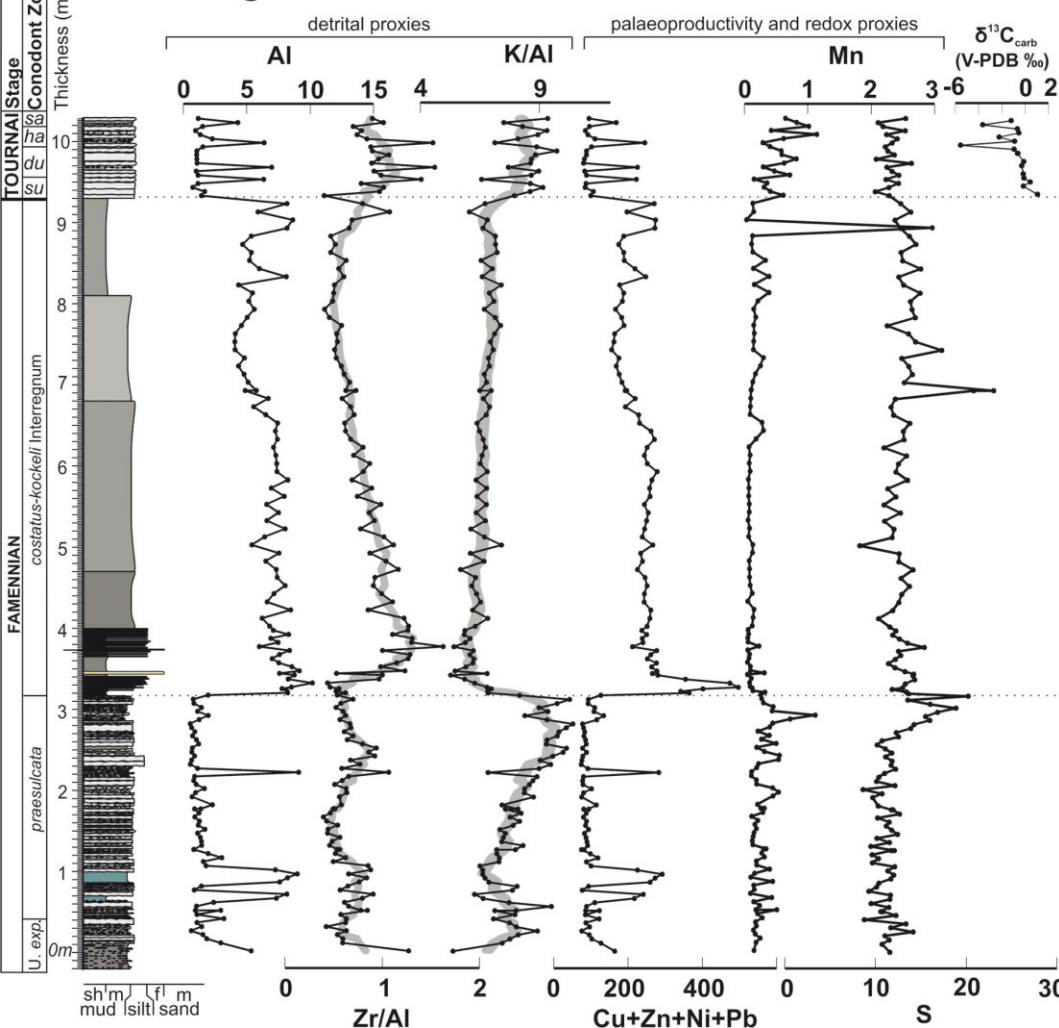
# Metody - laboratoř

- Studium prvkové geochemie:
  - AAS: atomová absorpční spektrofotometrie
  - XRF: rentgenová fluorescence
  - ICP-OES: hmotnostní spektrometrie s optickou emisní spektroskopií
  - ICP-MS: hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
  - LA-ICP-MS: laserová ablace s ICP-MS

Prvky využívané jako zástupné proměnné (proxy data) některých chemofyzikálních a biochemických procesů

- detritické prvky (např. Al, Si, Zr, Ti, K)
- redoxně senzitivní prvky (např. U, Mo, Mn, Fe, S)
- prvky související s bioproduktivitou (např. C, Ca, P, Ba, Si)
- prvky hydroterm (např. Mn, Eu)
- vulkanogenní prvky (např. Zr, Ti, Hg)

# Oberrödinghausen





# Metody - laboratoř

- Studium izotopové geochemie
  - stabilní izotopy C, O, S, N ...
  - díky frakcionaci během různých fyzikálněchemických procesů můžeme na základě izotopového záznamu tyto procesy rekonstruovat
- Např.  $\delta^{13}\text{C}$  – globální korelace (záznam změn glob. Výkyvu v uhlíkovém cyklu)

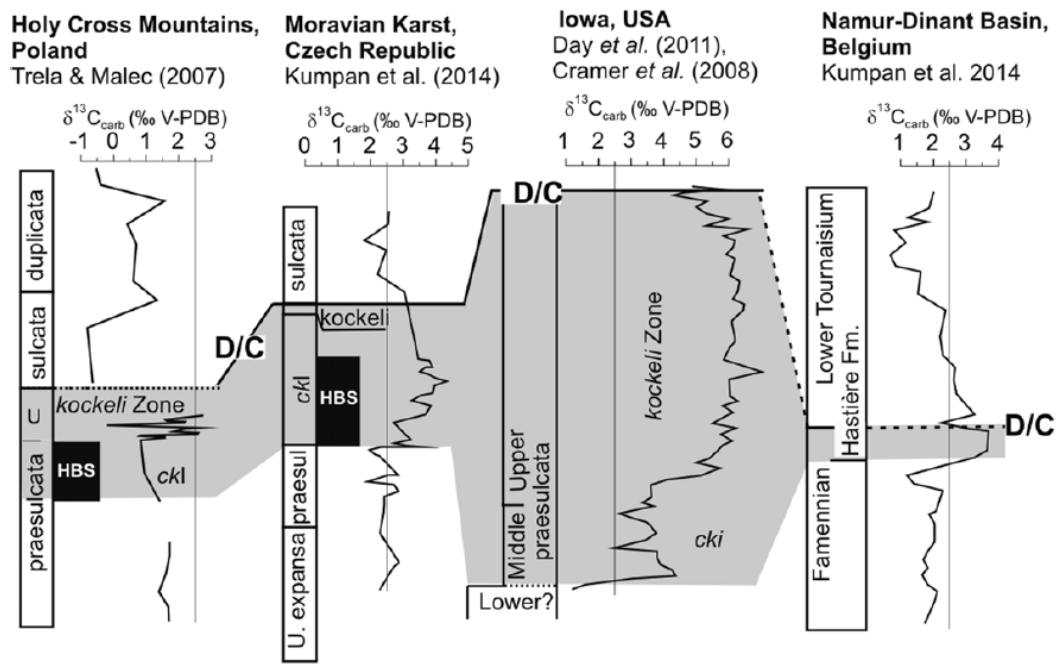
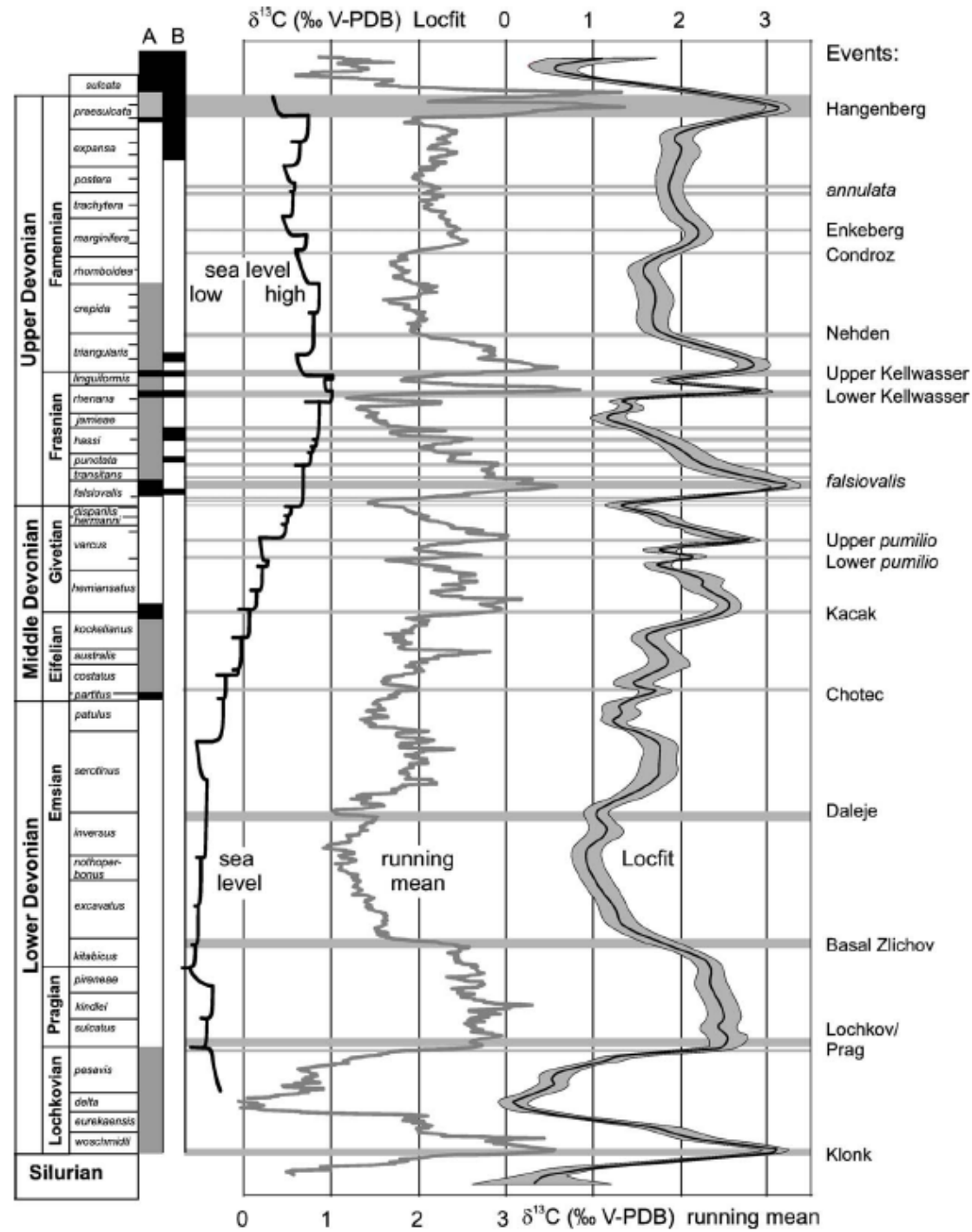


Fig. 14. Carbon isotopes ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ ) from DCB sections in Europe and North America. Two distinct isotope excursions were found in the *cki* and/or *kockeli* Zone during the Hangenberg Crisis.



# Metody – studium literatury

- Nezbytné pro nabytí potřebných vědomostí, často podepřených experimenty nebo dekadami pozorování a dokládání
- Základní učebnice
- Odborné články v periodikách:
  - procesní studie
  - případové studie
- Hlavní sed. časopisy: *Sedimentology*, *Sedimentary Geology*, *Journal of Sedimentary Research*
  - dále **Geology**, *Facies*, *Marine and Petroleum Geology*, *Palaeogeography*, *Palaeoecology and Palaeoclimatology*, *Bulletin of Geosciences*, *Geobios*, atd. atd.
- Mezinárodní sedimentologická asociace (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SEDIMENTOLOGISTS)
  - <https://www.sedimentologists.org/>
  - členové mají přístup k: časopisu *Sedimentology*, k workshopům, cestovní granty, levnější IAS konference
  - příští rok IAS meeting Prague, 2020 (<http://www.iasprague2020.com/> )
    - dobrovolníci-pomocníci, ozvěte se vyučujícímu ;)