

Geologija mora

Dubokomorski sedimenti i sedimentacija (11)

Mladen Juračić, Geološki odsjek PMF-a,
Sveučilište u Zagrebu, 2013/14

Dubokomorski sedimenti

- To je ono što se taloži/lo dublje od 500 m
- Započelo ih se istraživati s *HMS Challenger* (1872-1875).
- Temelje su postavili Murray i Renard: *Deep sea deposits*, te je taj rad temelj za sve kasnije.

- Kakav je današnji raspored sedimenata u dubokom moru i koji su mehanizmi nastanka?

Dubokomorski sedimenti

- Već su Murray i Renard registrirali biogenu komponentu (karbonat & opal), pelagičke gline, te terigene taloge.
- Dubokomorske sedimente podijelili su na:
 - a) pelagic deposits:
 1. Red clay
 2. radiolarijske,
 3. diatomejske i
 4. globigerinske ooze te
 - b) terrigenous deposits: blue, red, green, volcanic, coral mud

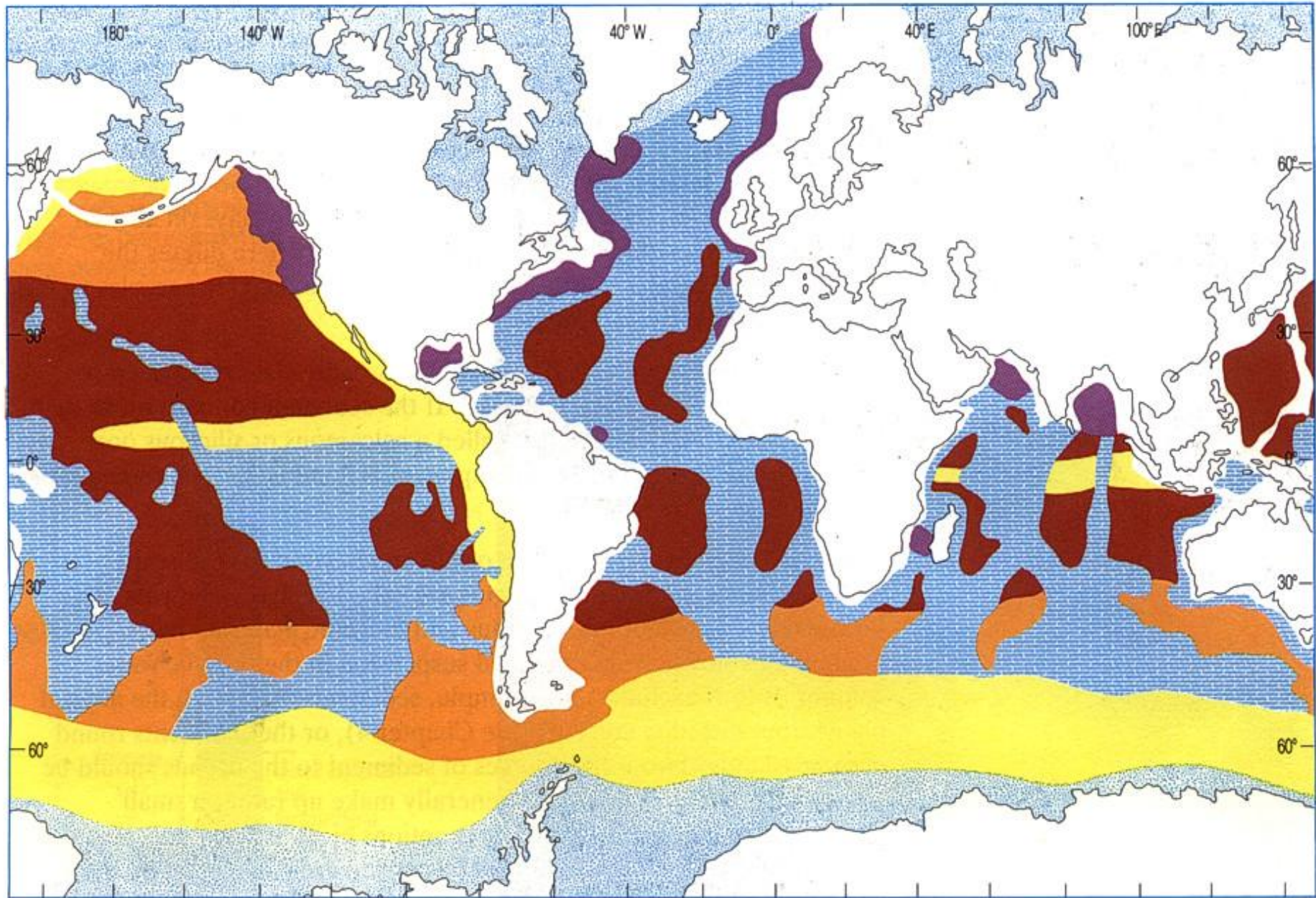
Dubokomorski sedimenti

- Danas se dijele na:
- **(Eu-) pelagičke gline i uze (ooze) s manje od 25 % frakcije veće od 5 μm i**
- **Hemipelagičke muljeve s značajnijom terigenom, vulkanogenom i/ili neritičkom frakcijom.**

- I. (Eu-) pelagic deposits (oozes and clays)
 - < 25 % of fraction >5 μm is of terrigenous, volcanogenic, and/or neritic origin
 - Median grain size 5 < μm (excepting authigenic minerals and pelagic organisms)
 - A. Pelagic clays. CaCO_3 and siliceous fossils < 30 %
 - 1. CaCO_3 1–10 %. (Slightly) calcareous clay
 - 2. CaCO_3 10–30 %. Very calcareous (or marl) clay
 - 3. Siliceous fossils 1–10 %. (Slightly) siliceous clay
 - 4. Siliceous fossils 10–30 %. Very siliceous clay
 - B. Oozes. CaCO_3 or siliceous fossils > 30 %
 - 1. CaCO_3 > 30 %. < 2/3 CaCO_3 : marl ooze. > 2/3 CaCO_3 : chalk ooze
 - 2. CaCO_3 < 30 %. > 30 % siliceous fossils: diatom or radiolarian ooze
- II. Hemipelagic deposits (muds)
 - > 25 % of fraction > 5 μm is of terrigenous, volcanogenic, and/or neritic origin
 - Median grain size > 5 μm (except in authigenic minerals and pelagic organisms)
 - A. Calcareous muds. CaCO_3 > 30 %
 - 1. < 2/3 CaCO_3 : marl mud. > 2/3 CaCO_3 : chalk mud
 - 2. Skeletal CaCO_3 > 30 %: foram ~, nanno ~, coquina ~
 - B. Terrigenous muds. CaCO_3 < 30 %. Quartz, feldspar, mica dominant
Prefixes: quartzose, arkosic, micaceous
 - C. Volcanogenic muds. CaCO_3 < 30 %. Ash, palagonite, etc., dominant
- III. Special pelagic and/or hemipelagic deposits
 - 1. Carbonate-sapropelite cycles (Cretaceous)
 - 2. Black (carbonaceous) clay and mud: sapropelites (e. g., Black Sea)
 - 3. Silicified claystones and mudstones: chert (pre-Neogene)
 - 4. Limestone (pre-Neogene)

Dubokomorski sedimenti

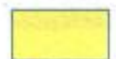
- Gdje nalazimo crvene gline, karbonatne uze i opalne uze?
- U osnovi raspored dubokomorskih sedimenata je jednostavan!



ice rafted



carbonate



siliceous



red clay



terrigenous

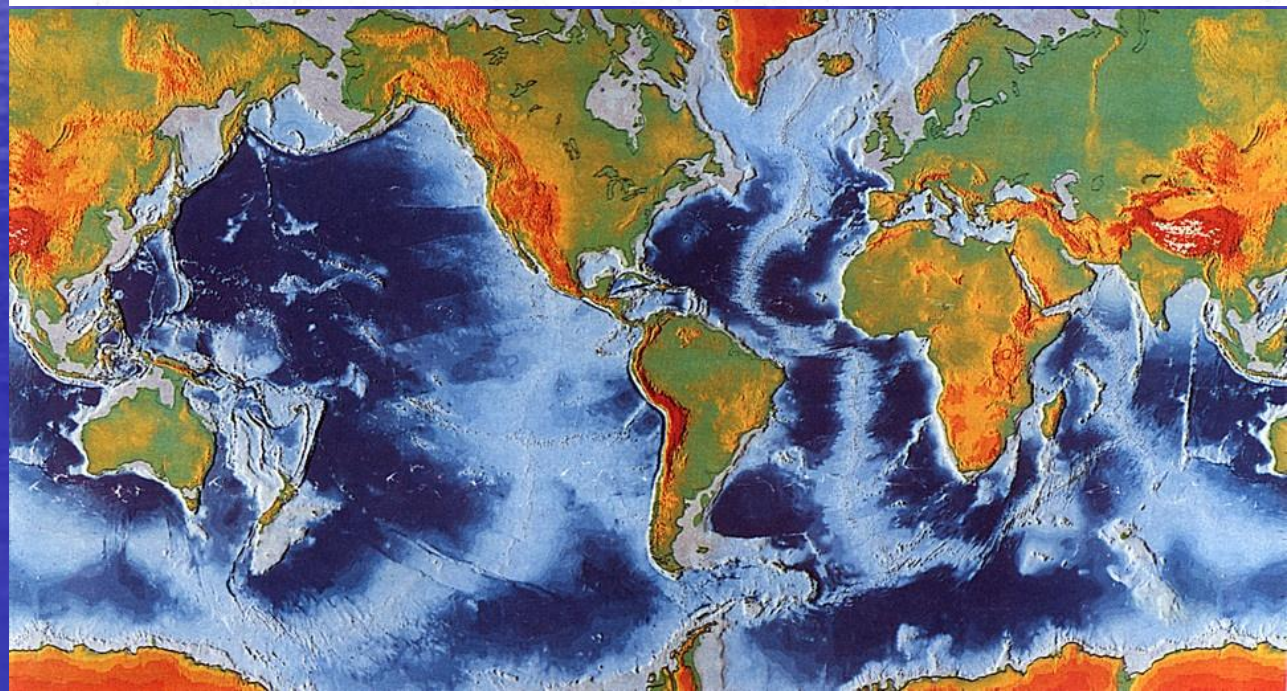
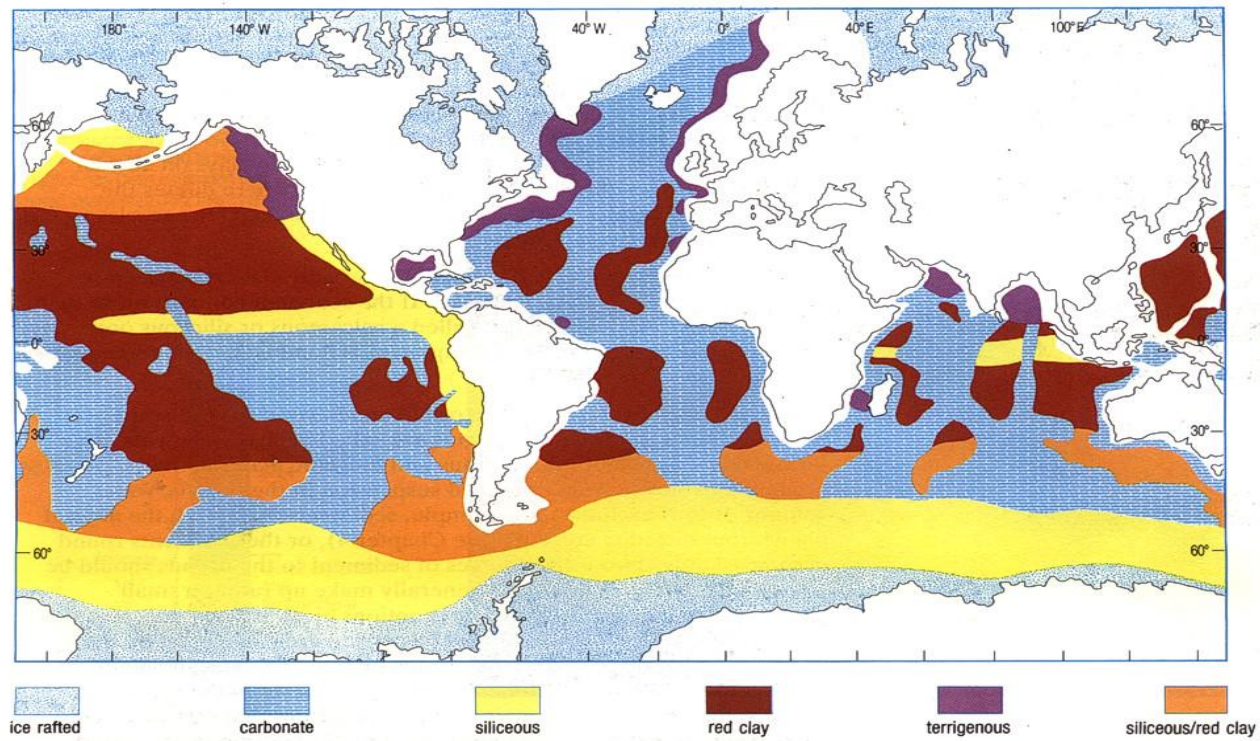


siliceous/red clay

Dubokomorski sedimenti

- Osnovna facijelna granica dubokomorskih sedimenata je **kalcitna kompenzacijska dubina (CCD)**, tj. granica između karbonatnih i nekarbonatnih sedimenata. Karbonatni sedimenti (uze) se nalaze na oceanskim uzdignućima i u plićim dijelovima dok se crvene gline nalaze u dubokim bazenima!
- To se dobro vidi ukoliko se usporedi razmještaj sedimenata s batimetrijom:

Raspored
tipova
sedimenata
postaje
razumljiviji
usporedbom s
morfologijom
oceana



Dubokomorski sedimenti

- Raspored osnovnih tipova sedimentata (biogene **karbonatne uze** (ooze) i **crvene gline**) kontroliran je **dubinom**.
- Na to je još superponiran raspored biogenih **opalnih uza** (ooze). Njih nalazimo na morskome dnu ispod zona velike primarne produkcije tj. ispod područja povećanog fertiliteta: oceanski rubovi, ekvatorski pojas, i polarni front.
- Grubljezrnati, terigeni talozi mjestimice se mogu rasprostirati i daleko u oceanske bazene (turbiditi i sl.).

Mehanizmi sedimentacije

- Četiri su osnovna mehanizma sedimentacije u dubokom moru:
 1. Vertikalna sedimentacija kroz cijeli vodeni stupac,
 2. Pridneni (lateralni) transport gravitacijskim tokovima (turbiditi, *debris flow*, *grain flow*, *slumping*),
 3. Transport geostrofičkim (konturitnim) strujama,
 4. Kemijska ili biokemijska precipitacija na morskome dnu.

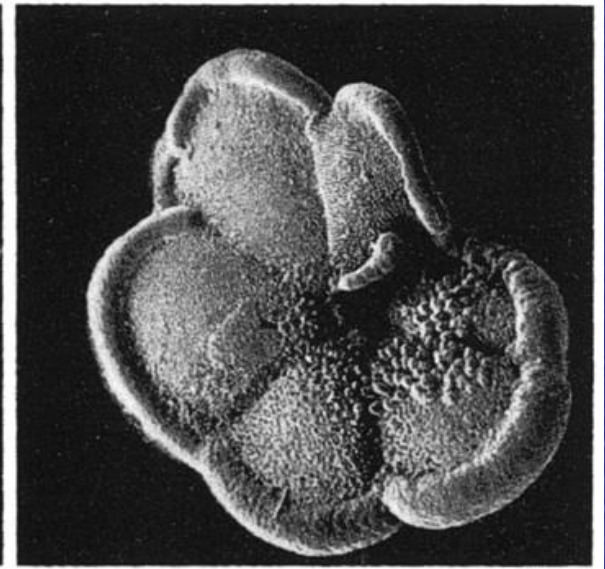
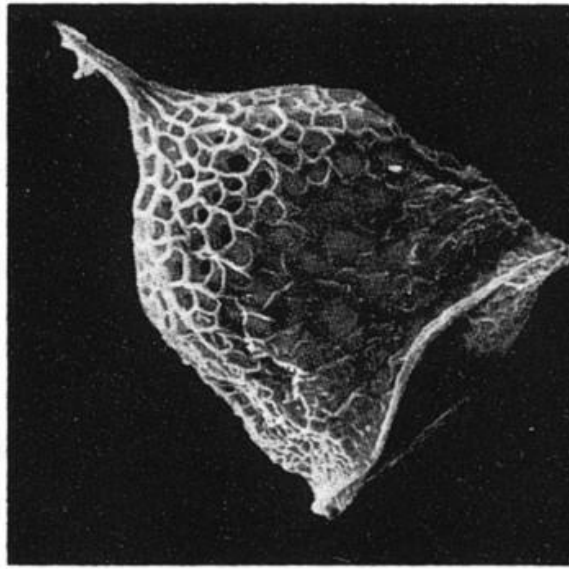
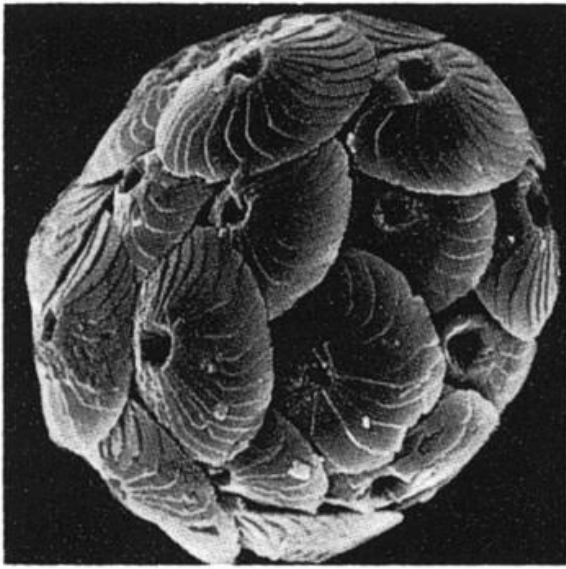
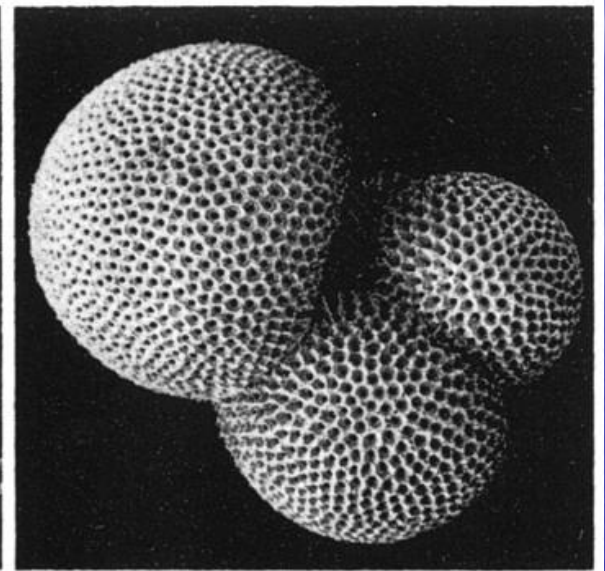
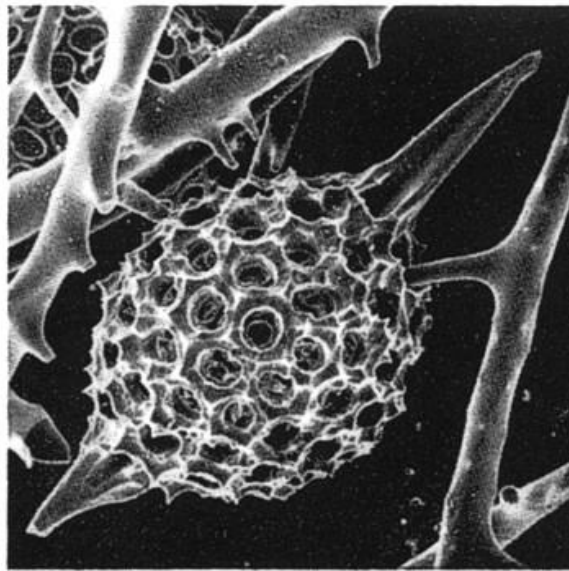
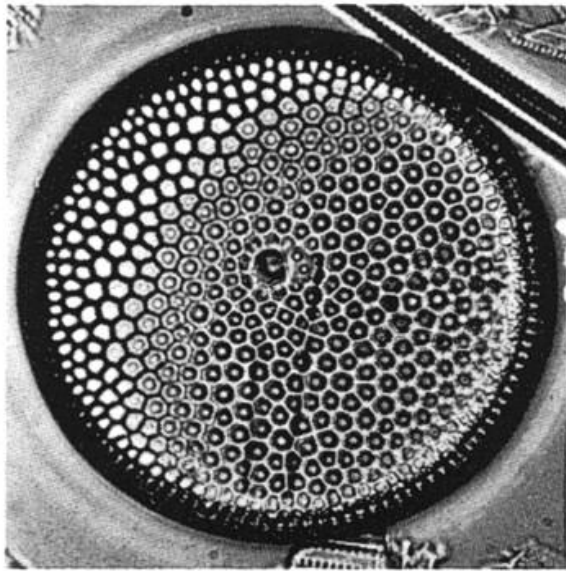
Mehanizmi sedimentacije

- Na morskome dnu dominiraju (prevladavaju) sedimenti sa značajnom **biogenom komponentom**.
- 1/2 morskog dna prekriveno je uzama (talozima s ostacima planktonskih organizama) pretežno ljušturicama manjim od 1 mm.
- Većina organizama čiji skeleti i ljušturice stvaraju dubokomorske sedimente živi u fotičkoj zoni (planktonske dijatomeje, kokolitoforidi, a i foraminifere - jer često imaju simbiotske alge i hrane se najčešće u fotičkoj zoni).
- Samo neke radiolarije mogu živjeti dublje.
- Ljuštire osim za stvaranje sedimenata (!) služe za zaštitu ili kao zamka za hranu.

Plankt. dijatomeja

radiolarija

Globigerinoides sacculifer



kokolitoforid

tintinid

Globorotalia menardii

Mehanizmi sedimentacije

- Negativna posljedica stvaranja ljuštura je rast težine, pa su često perforirane, delikatne (fragilne) a neki organizmi izlučuju lipide (masti), plinove ili/i imaju izbojke, te su i veličinom malene.
- **Veći dio ljuštura ne stiže do morskog dna, a i od onoga što stigne, veći se dio otopi (i karbonat a posebno opal!).**
- Oceanske dijatomeje (iako su najčešći planktonski organizmi) se gotovo i ne nalaze u sedimentima jer su suviše delikatne da bi se očuvale.

Mehanizmi sedimentacije

- Koji su osnovni faktori koji kontroliraju sastav biogene komponente dubokomorskih sedimenata?

1. Fertilitet, tj. proizvodnja odnosno input

2. Dubina koja kontrolira razgradnju (kroz tlak i kemiju morske vode - tip vode).

Mehanizmi sedimentacije

Pelagička kiša

- U pelagijalu većina sedimenta nastaje "kišom" čestica.
- **Morski snijeg** (*marine snow*) je tehnički izraz za **agregate** čestica koje tonu, pa se ne može upotrijebiti za čestice koje tonu iako je bi to bio odgovarajući izraz.
- Recentna sedimentacija proučava se pomoću sedimentnih zamki (trapova). Pokazalo se da se pelagička kiša u najvećem dijelu sastoji od fekalnih peleta različite veličine i oblika, te različitog stupnja razgradnje.

Morski snijeg

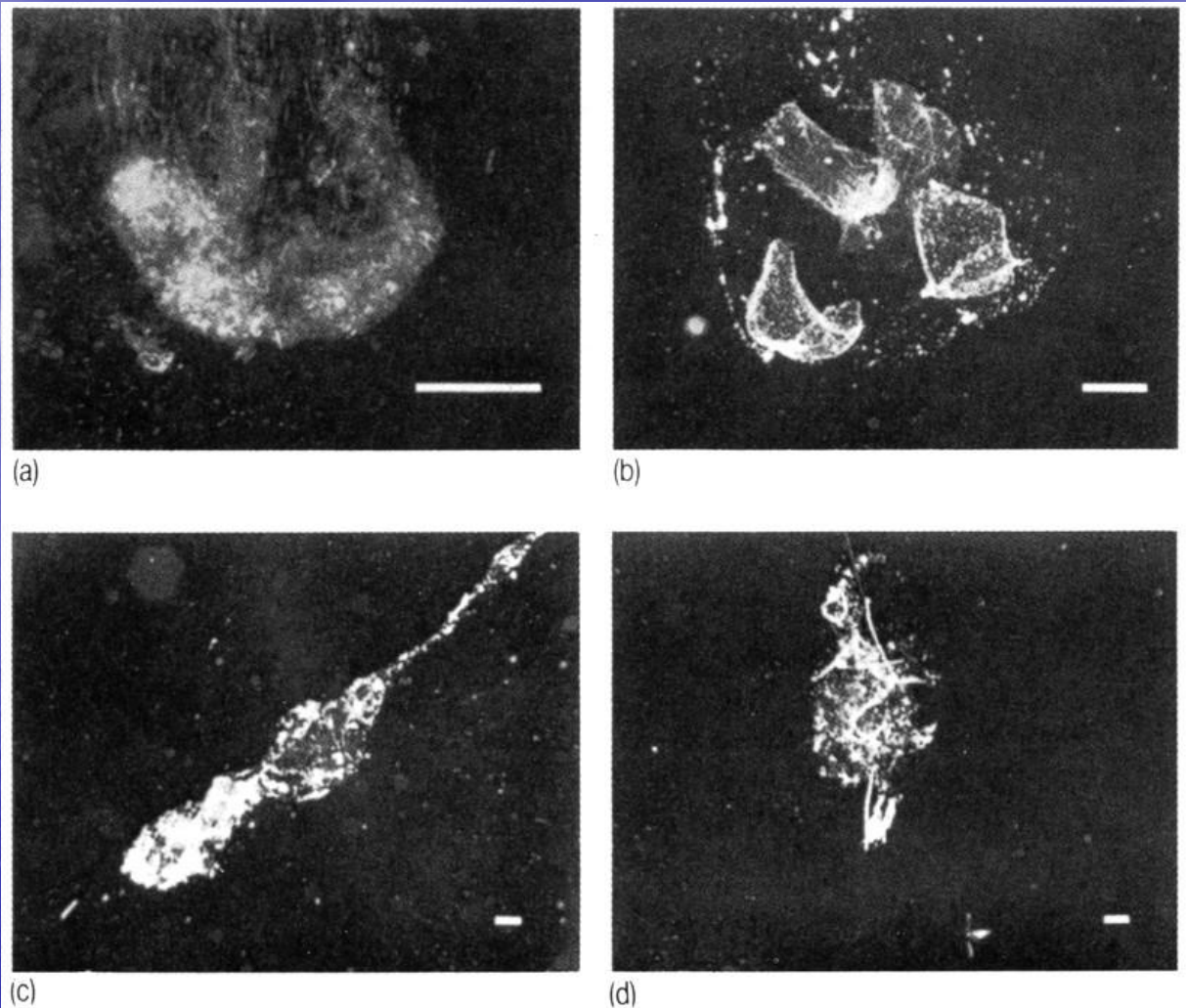


Figure 2.4 Examples of marine snow.

(a) Loosely associated aggregate of living, chain-forming diatoms. Scale = 1 cm.

(b) **Abandoned filter nets of an appendicularian (small ascidian) surrounded by an envelope of particle-studded mucus.**

(c) Typical comet-shaped aggregate.

(d) Irregularly shaped aggregate of unknown origin containing numerous macrocrustacean faecal pellets. Scale of (b)–(d) = 1 mm.

Mehanizmi sedimentacije

Peleti nastaju prvenstveno od zooplanktona (kopepodi, tunikati - salpa, *krill*) i drugih grabežljivaca.

- Ubrzanim tonjenjem **fekalnim transportom** čak i najsitnije čestice (gline, kokoliti) stižu na morsko dno u tjedan, dva dana.
- Da nema tog ubrzanog transporta sitne opalne, karbonatne ili organske čestice, koje su podvrgnute remineralizaciji u morskoj vodi, ne bi uopće stigle do morskoga dna!

Mehanizmi sedimentacije

- Protok (flux) organskih čestica znatno se smanjuje s dubinom jer dolazi do efikasne remineralizacije.
- Izraz *export production* (izvozna proizvodnja) označava postotak od primarne proizvodnje koja napušta fotičku zonu.
- Unatoč brzom fekalnom transportu količine koje tonu se znatno smanjuju zbog razgradnje peleta. Na 1000 m npr. ima 1/5 količine organskih čestica u usporedbi s količinom na 200 m.
- Zbog velike primarne produkcije i male dubine do morskoga dna dolazi do znatne akumulacije organskih ostataka duž oceanskih rubova. Suprotna je situacija u otvorenim oceanima (mala produkcija i dugi put).

Mehanizmi sedimentacije

- Važna karakteristika vertikalne sedimentacije čestica i organske tvari u moru je njena izrazita **sezonalnost** (odnosno **epizodnost**).
- Zbog velike brzine taloženja čestica u oceanu (1-2 tjedna) epizodne fluktuacije primarne produkcije u površinskom sloju uvjetuju epizodni donos hrane u duboko more i taloženje laminiranih sedimenata.
 - Sezonske varijacije u "kiši" čestica u moru posebno su izrazite u visokim zemljopisnim širinama.
- Zbog važnosti fekalnog transporta u taloženju čestica u moru očito je da biološki procesi u pelagijalu nisu važni samo kao izvori materijala za dubokomorske sedimente već i za način taloženja čestica.

Brzine sedimentacije u oceanima

- Prve procjene: W. Schott (Meteor, 1925) na temelju debljine postglacijalnih sedimenata. U jezgrama iz Atlantika na temelju dubine pojavljivanja foraminifere *Globorotalia menardii*, Debljina/vrijeme postglacijala = brzina. I danas se koristi na brodu za prvu aproksimaciju.
- Terigeni muljevi ispred riječnih ušća više m/1000g
- vapnenačke uze 1-6 cm/1000g
- opalne uze 2-10 mm/1000g
- crvene gline 1-3 mm/1000g

Brzine sedimentacije u oceanima

- Do tog se došlo na temelju mjerenja starosti sedimenta na određenoj dubini pomoću radioaktivnih izotopa npr. ^{14}C , U/Th, ^{210}Pb , te korelacijom s paleoklimatskim i paleomagnetnim signalima.
- U načelu, brzine nakupljanja sedimenta velike su blizu važnih izvora materijala (kontinenta, vulkana) te ispod područja s velikom primarnom produkcijom.
- Taloženje sitnozrnatih, glinovitih čestica u oceanima znatno ovisi o donosu prašine i smjeru vjetrova.

Debljina dubokomorskih sedimenata

- Važan korak u istraživanju dubokomorskog dna bila je procjena ukupne debljine dubokomorskih sedimenata na temelju seizmičkih (akustičkih) refrakcijskih i refleksijskih metoda (50-ih godina 20. stoljeća).
- Prvi su rezultati izazvali šok u geološkim krugovima.
- Ranije se pretpostavljalo da su dubokomorski sedimenti dugi zapis - memorija razvoja Zemlje, no Ewing je pokazao da je tipična debljina sedimenata u Atlantiku svega oko 500 m, a u Pacifiku još i manja (samo 300 m)!

Debljina dubokomorskih sedimenata

- H. Hess je još 1959. g. pisao (i mislio) da bi se bušenjem morskoga dna do plašta moglo uzorkovati primordijalne sedimente.
- Međutim 1960. g. Hess je prihvatio poluzaboravljenu ideju (Holmes) o konvekciji magme u plaštu i stvorio model prema kojem se stvara novo morsko dno "svakih 300 do 400 milijuna godina" što je "uzrokom relativno tankog pokrova sedimenata na morskome dnu".

Glavni tipovi dubokomorskih sedimentata

- Detaljnije o glavnim tipovima dubokomorskih sedimentata:
 - Crvene gline (zapravo crvenkasto-smeđe)
 - Karbonatne uze
 - Opalne uze

Crvene gline i minerali glina

- Od svih sedimenata jedino su **crvene gline** (CG) striktno ograničene na dubokomorski okoliš.
- Većina čestica koje nalazimo u CG su ekstremno sitnozrnate, a ono što je veće je nastalo je u oceanu:
 - hidrogeni minerali
 - vulkanske čestice
 - Fe-Mn konkrecije
 - biogeni ostaci (riblji zubi - fosfat, aglutinirane foraminifere, spikule, radiolarije)

Porijeklo materijala u CG

Tri su pitanja kojima ćemo se ovdje pozabaviti:

1. Jesu li osnovno izvorište materijala koji se taloži u CG kopno ili vulkani?
2. Koji je važniji: transport vjetrom ili rijekama ukoliko materijal stiže s kopna?
3. Kolike su i kakve su interakcije (međudjelovanja) između CG i morske vode (postoji li i kolika je inkorporacija K, Na u kristalnu strukturu gline – tzv. **koncept obrnutog trošenja** (*reverse weathering*), a što je važno za geokemijsku ravnotežu u oceanima)?

Porijeklo materijala u CG

- Za odgovor o porijeklu materijala potrebno je znati sastav sitnozrnatih čestica, raspored na morskome dnu i brzine sedimentacije.
- Minerali značajnije zastupljeni u CG su:
 1. **minerali glina** (montmorilonit, klorit, kaolinit i mješanoslojne gline)
 2. **litogeni minerali** (feldspati, pirokseni, kremen)
 3. **hidrogeni (autigeni) minerali** (zeoliti, Fe-Mn oksidi i hidroksidi, koji čine i veći dio amorfnog materijala u CG, te Fe³⁺ oksidi daju i boju sedimentu).

Porijeklo materijala u CG

- Pomoću litogenih minerala, koji su zastupljeni i u krupnijezrnatoj frakciji, relativno se lako može zaključiti o izvorima materijala (bazični ili kiseli vulkani, terigene stijene).
- Raspodjela kremena u sjeveropacifičkim sedimentima ukazuje na eolski transport iz pustinjskih zona što je u skladu i s promjenom veličine čestica i mikrokemijskim sastavom tog kvarca.

Crvene gline

- **Minerali glina** čine oko 2/3 sitnozrnate nebiogene frakcije CG a ta čini 90% CG.
- **Smektiti** (montmorilonit) su grupa minerala koji imaju TOT pakete koji imaju negativni električni naboj i između njih se smještaju **hidratizirani, izmjenljivi kationi**.
- Glavna karakteristika je **mogućnost bubrenja** (period ponavljanja po c osi 14 Å koji se smanjuje zagrijavanjem)
- Vezani većinom uz niskotermalnu alteraciju vulkanskih stijena tj. nastaju kao reakcijski produkt hidratiziranog bazaltskog stakla (palagonita) s morskom vodom.

Minerali glina u CG

- **Illit** opći naziv za glinovitu komponentu koja pripada tinjcima a uglavnom je degradirani muskovit (upotrebljava se često i izraz **sericit**).
- Slično montmorilonitu ima TOT pakete ali čvršću strukturu s K^+ između paketa koji nisu hidratizirani tj. nemaju vodu oko sebe
- Period ponavljanja po c osi je 10 Å.

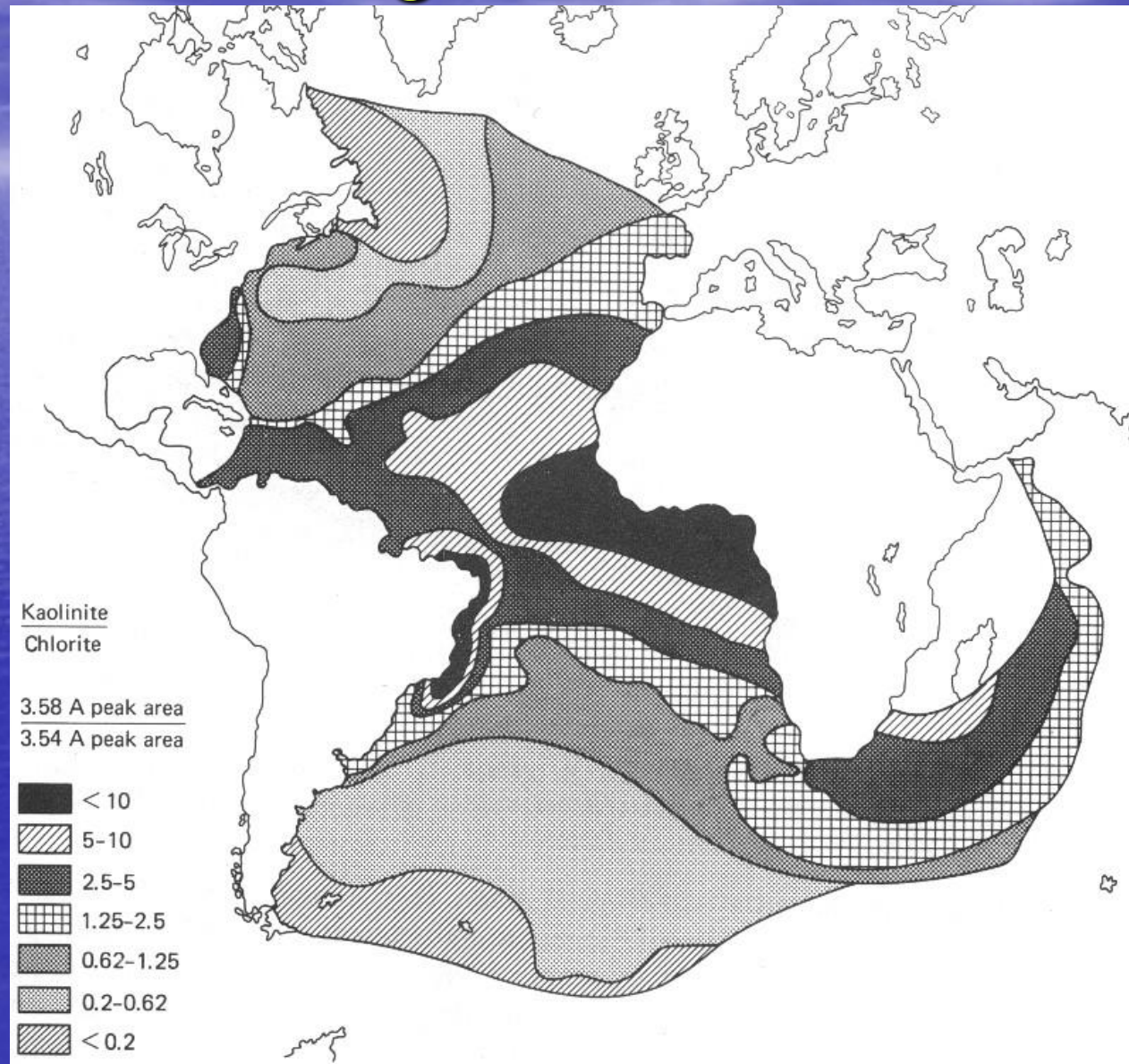
Minerali glina u CG

- **Klorit** također ima TOT pakete ali čvrsto vezane brucitnim paketom $\text{Mg}(\text{OH})_6$, dakle nema dodatne katione (osim ovog Mg) (14,2 Å duljina jedinične ćelije po c osi).
- Karakterističan za niskometamorfne stijene i **mehaničko trošenje stijena** (polarni i umjereni pojas!).
- **Kaolinit** se sastoji od TO paketa pa mu je period ponavljanja samo 7,2 Å, a nastaje **kemijskim trošenjem feldspata** (netopivi alumosilikatni ostatak)
- Karakterističan za tropsku klimatsku zonu!

Raspored minerala glina u oceanima

- Najviše je montmorilonita i ilita. Jedan vulkanogeni, drugi terigeni!
- Kaolinit i klorit također su terigeni, a njihov međusobni odnos dobar je klimatski indikator! Klorita ima uz Aljasku a kaolinita uz sjevernu Afriku i Australiju.
- Osim montmorilonita, minerali glina stižu u dubokomorske prostore s kopna!

Raspored minerala glina u Atlantiku



Crvene gline

- Zašto su mineralne provincije tako dobro odvojene?
- Vjerojatno dosta sitnozrnatog materijala stiže vjetrom u ocean a potom pomoću brzog transporta sedimentira na morsko dno (fekalni peleti).

Karbonatne uze

- To su sedimenti koji imaju više od 30% težinskih, karbonatnih skeleta pelagičkih organizama.
- Riječna voda je razrijeđene otopina kalcijskog bikarbonata i kremične kiseline (H_4SiO_4). Donos kalcija je toliki da se u samo 1 milijun godina donese ukupna otopljena količina Ca u oceanima tj. vrijeme zadržavanja (*residence time*) $T_{\text{Ca}} = 1 \text{ Ma}$.
- Kao balans inputu je bioprecipitacija u površinskom sloju mora (do 500 m dubine). Ispod toga je morska voda zbog rasta tlaka i smanjenja temperature nezasićena (nesaturirana) na CaCO_3 .

Karbonatne uze

- **Lizoklina** (*lysoclina*) je dubinska granica u moru iznad koje su dobro očuvane zajednice npr. foraminifera (pa imamo foraminifersku lizoklinu) pteropoda (pteropodna lizoklinu) ili kokolita (kokolitna lizoklinu).
- **Karbonatna kritična dubina (CCRD)** je ona ispod koje je manje od 10% karbonata u sedimentu (lako se analitički određuje), a sistematski je plića od CCD.

Karbonatne uze

- **Kalcitna kompenzacijska dubina (CCD)** (karbonatna linija) može se usporediti sa snježnom linijom.
- To je dubina ispod koje nema karbonatnih sedimenata, a iznad koje su sedimenti bogati s karbonatom.
- To je granica na kojoj je prinos/donos karbonata uravnotežen s otapanjem karbonata pa nema akumulacije karbonata (Bramlette, 1961).

Karbonatne uze

- Danas je CCD u oceanima na oko 4,5 km.
- Postoje razlike između Pacifika 4,2 - 4,5 km i Atlantika >5 km.
- U Atlantiku je antiestuarijski tip cirkulacije vode pa u dubokom moru ima više kisika a manje CO₂, te je stoga otapanje karbonata manje/sporije no u Pacifiku.
- U Pacifiku je estuarijski tip cirkulacije voda, ima više otopljenog CO₂ u dubokomorskoj vodi, pa je i otapanje karbonatnih ljuštura brže.

Karbonatne uze. Što utiče na CCD?

- Kao i kod snježne granice:
 - produkcija karbonata (karbonatnih ljušturica)
 - brzina otapanja (raste s koncentracijom CO_2 koji se bolje otapa u hladnoj vodi, te s porastom tlaka).
- CCD odgovara vrhu Anktarktičke pridnene vode (AABW) u Atlantiku i j. Pacifiku
- To ukazuje na važnost dubokomorske cirkulacije koja određuje raspored tipova voda!
- Ploha CCD pokazuje reljef - anomalije. Uz ekvator u Pacifiku je CCD za 500 m dublje jer je tamo veća kiša karbonatnih ljuštura (veća plodnost zbog *upwellinga*).

Karbonatne uze. Što utiče na CCD?

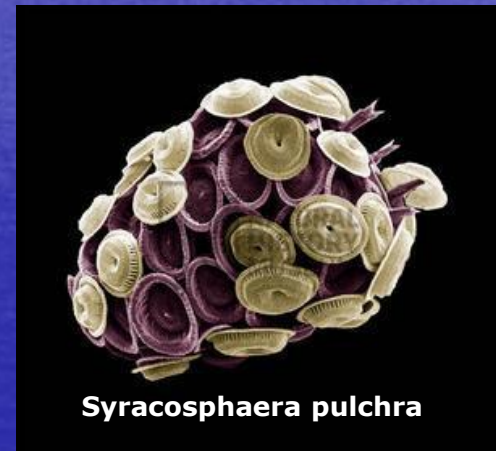
- Paradoksalno, uz kontinente u zoni povećane primarne produkcije CCD je pliće! Zašto?
- Jer se tu proizvodi više organske tvari, a njenom razgradnjom nastaje više CO_2 koji povećava agresivnost morske vode. Nasuprot tome, u ekvatorskom pojasu organske se tvar više reciklira u površinskom sloju, te je manja šansa da stigne do dubokog morskog dna.
- Skeleti i kućice se uglavnom otapaju na morskome dnu (dublje od 500 m). Fekalni peleti i organske ovojnice pomažu da se već tokom taloženja u morskoj vodi veći dio ne otopi. To pogotovo vrijedi za kokolite, ali i za male fragilne foraminifere. No očito i sastav (mikrokemijski) te organske molekule u ljušturi dovode do različite topljivosti pojedinih ljuštura.
- Kokoliti i ljušture bentičkih foraminifera otpornije su na otapanje od ljuštura planktonskih foraminifera.

Karbonatne uze

- U oceanima susrećemo tri osnovna tipa karbonatnih uza:
 - 1. Foraminiferske** (globigerinske) uze.
 - 2. Nanoplanktonske** (kokolitoforidne) (u starijim sedimentima *Discoasteri*). nalaze se neposredno iznad CCD što ukazuje da su otpornije na otapanje od foraminifera!
 - 3. Pteropodne** uze (veliki planktonski pužići) imaju kućicu od aragonita te se brzo otapaju a uze se nalaze na <3000 m u Atlantiku (na Bermuda platformi do 2000 m).



Globigerina bulloides



Syracosphaera pulchra

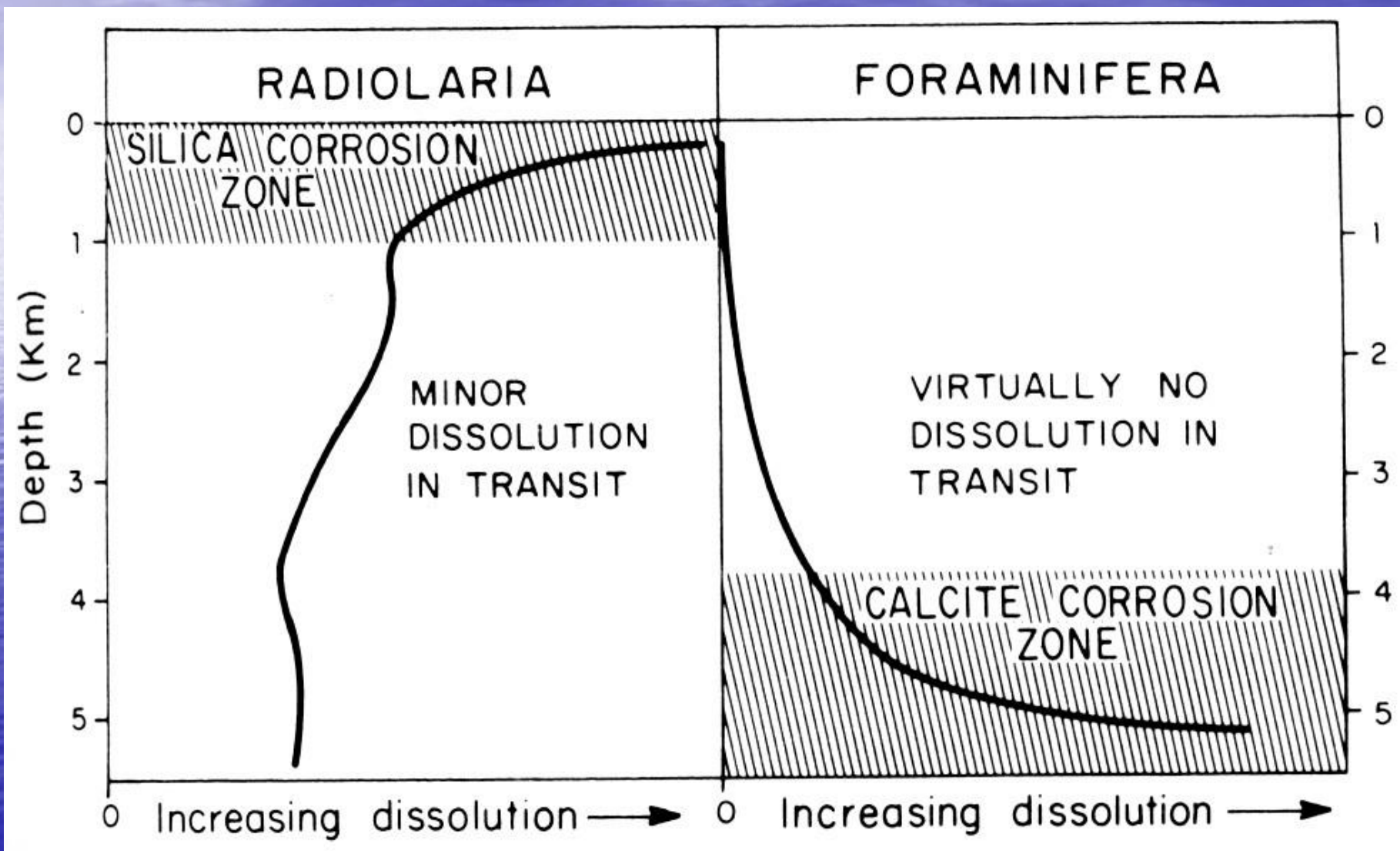


Creseis virgula

Karbonati i ciklus CO₂

- S taloženjem i otapanjem karbonata vezan je i globalni ciklus CO₂. Dio povećanja atmosferske koncentracije CO₂ ide u oceane i povećava topljivost karbonata (pogotovo u hladnijim površinskim područjima gdje je stupanj saturacije blizu 1).
- Procjenjuje se da treba otopiti cca 1 m karbonata kao kompenzaciju potrošnje ugljena i nafte.
- No trebat će nekoliko stotina godina da CO₂ stigne u dublje more jer je takva brzina miješanja morske vode.
- Oceani jesu pufer ali spori! A djelovanje čovjeka brzo, te može doći do narušavanja balansa (klimatski šok!).

Bitna je razlika u načinu otapanja karbonata i opala (kremena) u oceanima:

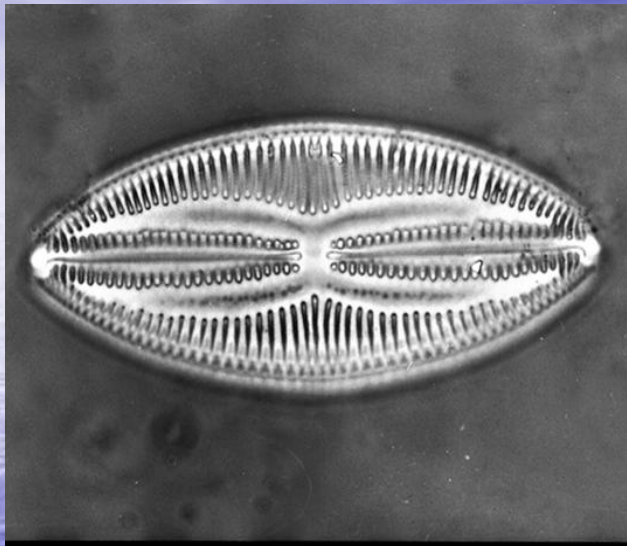


Opalne uze

- Silicij (Si) je među najzastupljenijim elementima u Zemljinoj kori. S kisikom (koji je najzastupljeniji) čini SiO_2 .
- Karakteristično je da organizmi za gradnju skeleta i ljušturica koriste **opal** (hidratizirani amorfni SiO_2) pretežno u plitkomorskom području.
- Stvaraju ga npr. dijatomeje (fotosintetske alge), radiolarije (na svim dubinama), silikoflagelati (fotosintetski organizmi), spužve (spikule).
- More je nezasićeno s obzirom na SiO_2 pa je otapanje opalnih skeleta važno u ciklusu SiO_2 u moru.

Opalne uze

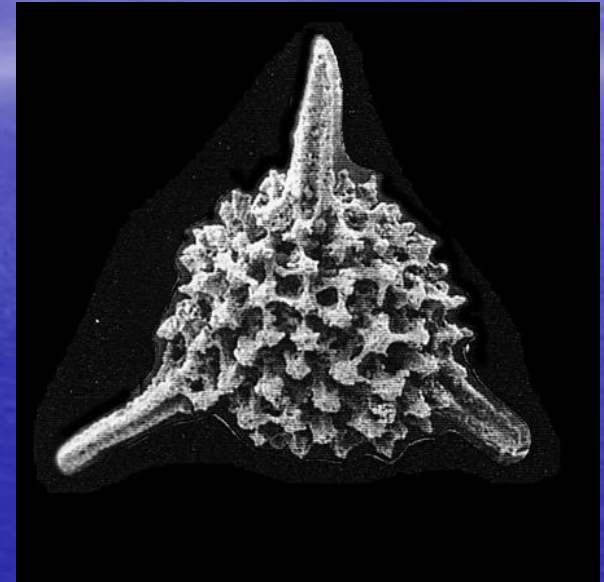
Primjeri opalnih skeleta:



Dijatomeja
(alga kremenjašica)



Silikoflagelat



Radiolaria
(zrakaš)

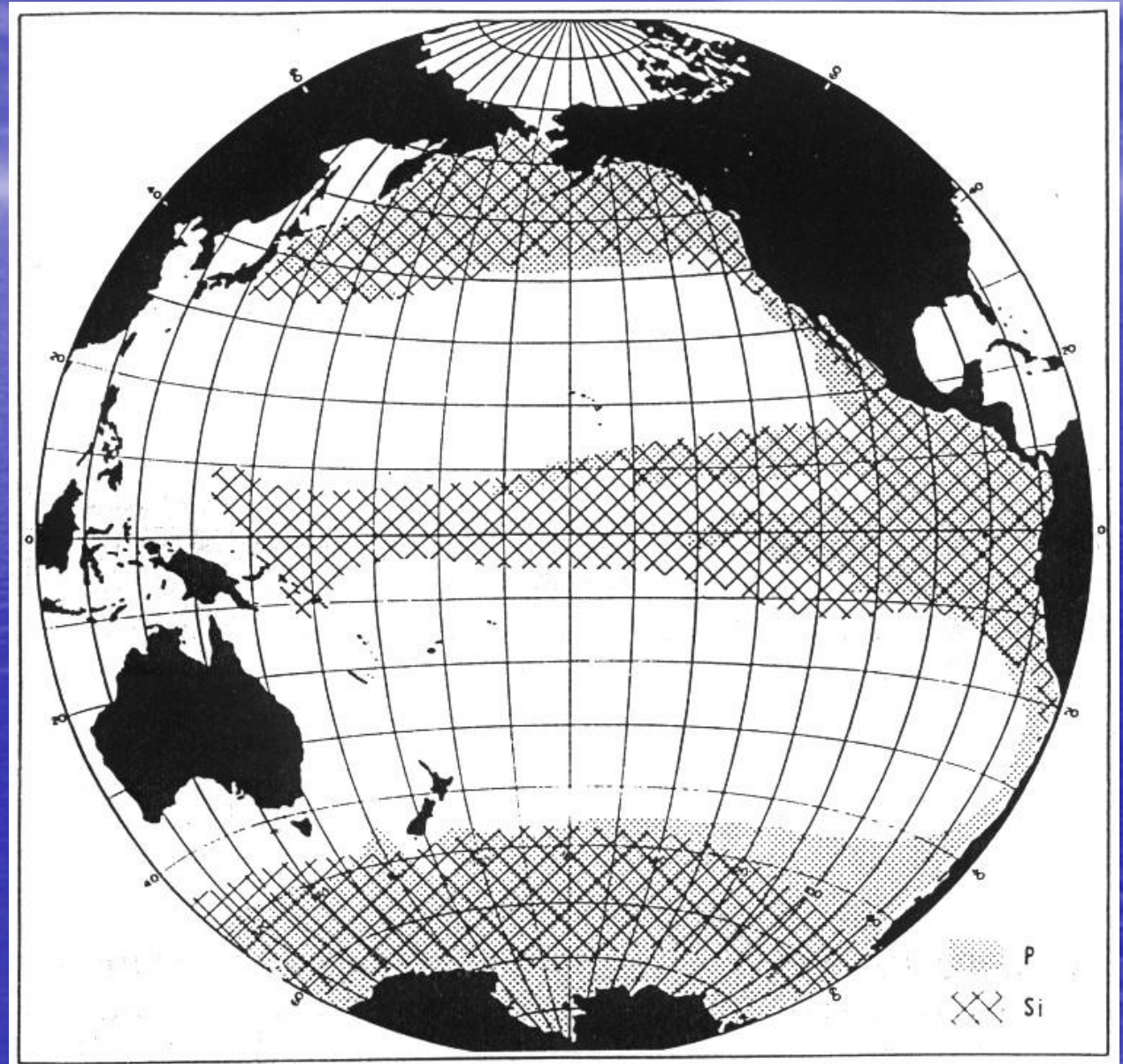
Sintetiziraju hidratizirani amorfni opal ($\text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$) iz topljivog silicija koji je u moru prisutan u obliku ortosilicijeve kiseline (H_4SiO_4) i njezinih topljivih polimera.

Opalne uze

- Brže je otapanje opala u površinskom dijelu mora no dublje (veći stupanj nezasićenosti jer u fotičkoj zoni organizmi ugrađuju opal u skelete - biolimitirajući nutrijent).
- Vrlo mali dio opala kojeg organizmi proizvedu u moru se uspije akumulirati u sedimente.
- **Dijatomejske uze** (muljeve) nalazimo u visokim širinama, dijatomejski hemipelagički mulj u perikontinentskom području, a **radiolarijske uze** u ekvatorskom pojasu (u zonama izdizanja voda), tj. tamo gdje ima nutrijenata, pa je stoga vrlo dobra korelacija s otopljenim fosforom u moru.

Opalne uze

- Raspored sedimenata u Pacifiku bogatih opalom (Si) i područja s povišenom koncentracijom fosfora
- (P, $>1 \mu\text{g-atom/l}$) u površinskoj vodi (100 m)



Opalne uze

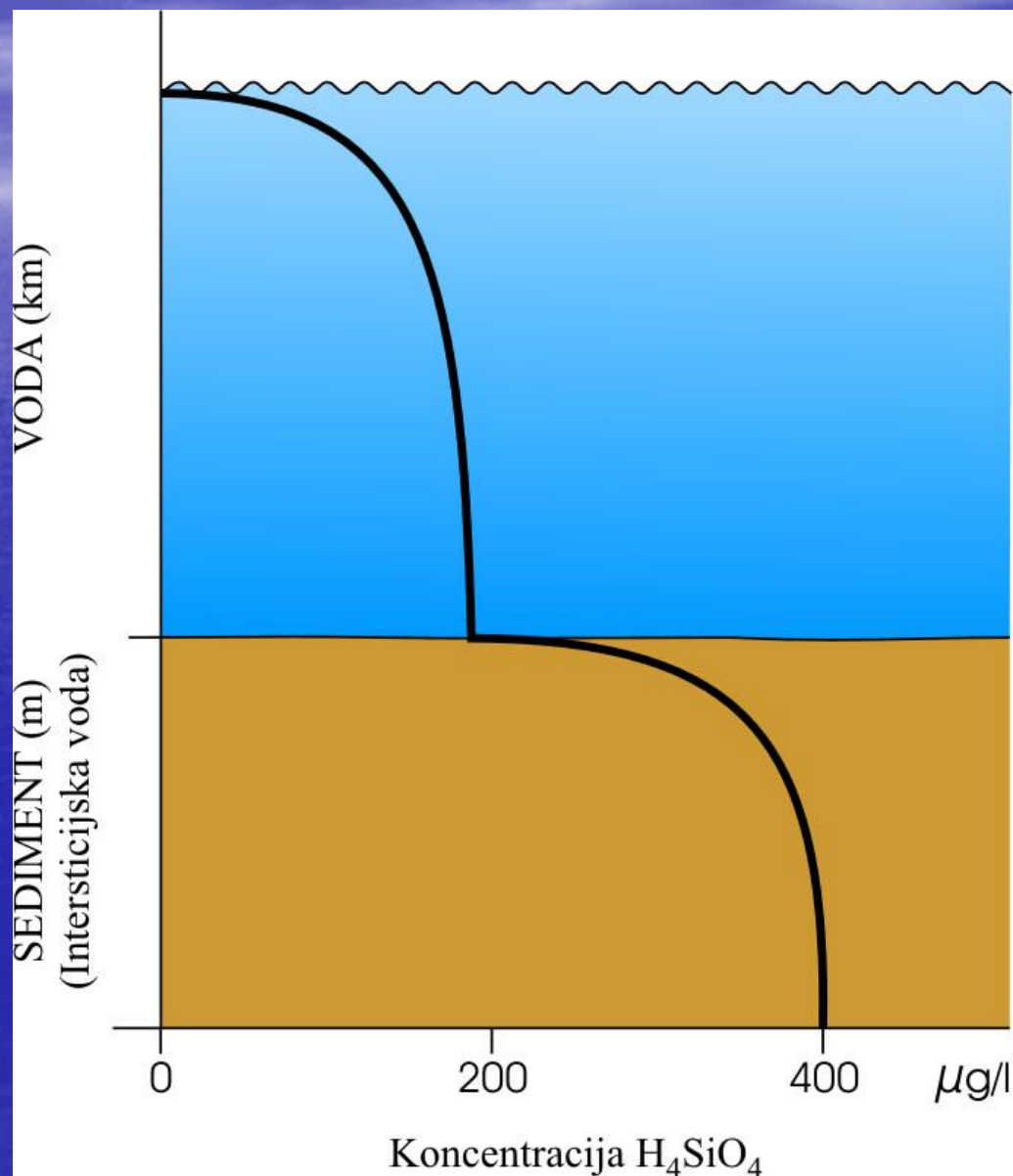
- Kao i kod drugih sedimenata, koncentracija opalnih ljušturica u sedimentu ovisi o:
 1. proizvodnji / produkciji biogenog opala,
 2. stupnju donosa ostalih komponenti (“razrjeđivanju” s terigenim, vulkanskim ili neritičkim materijalom),
 3. stupnju otapanja opalnih skeleta.
- Produkcija je maksimalna uz obale (silikatni prsten), ali posebno u zonama izdizanja (debele ljušturice + zooplanktonski peleti kao ekspresne pošiljke).

Opalne uze

- "Razrjeđivanje" s karbonatnim skeletima nije značajno (iako je produkcija međusobno povezana), zbog negativne korelacije očuvanja karbonatnih i opalnih ljušturica.
- Kod povećanog fertiliteta ili proizvodnje organske tvari u površinskom sloju, doći će do povećanog otapanja karbonata u dubljim slojevima (zašto?)
- Povećana oksidacije organske tvari stvara više CO_2 , koji stvara kiselinu pogodnu za otapanje karbonata. Osim toga stupanj topivosti karbonata i opala je obrnuto proporcionalan (u dubljim dijelovima brže otapanje karbonata a slabije opala).

Opalne uze

- Postoji pozitivna korelacija između količine skeleta koji padnu u sediment i stupnja njihova očuvanja. Naime intersticijske vode se brzo saturiraju otapanjem krhkih formi, pa se preostali dio teže otapa.



Opalne uze

- Redoslijed otapanja opalnih ostataka u sedimentu je slijedeći:
- 1. silikoflagelati
- 2. dijatomeje
- 3. krhke radiolarije
- 4. robustne radiolarije
- 5. spikule spužvi

Opalne uze

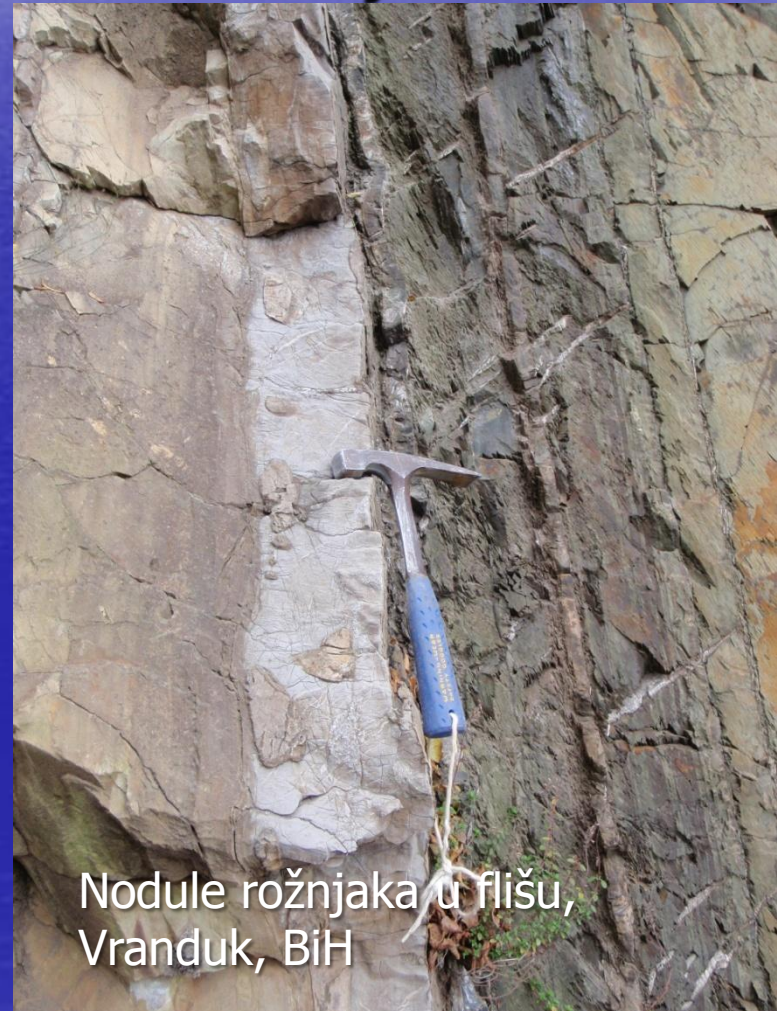
- Otapanje opala u sedimentu daje otopljeni silicij u pridnenu vodu pa će "stara" voda imati više otopljenog silicija od "mlade".
- Pacifička voda ima više koncentracije otopljenog silicija od mlade NADW.
- Stoga danas u moru očito ne dolazi do stvaranja novih minerala koji bi ugrađivali Si, tj. danas se Si ne veže uz površinske sedimente, već obrnuto opal (SiO_2) da se otapa iz sedimenata i otopljen vraća u morsku vodu.

Rožnjaci (čertovi)

- Nastanak dubokomorskih **rožnjaka** vezan je uz sedimente bogate opalom.
- Nastaju rekristalizacijom (tj. uređivanjem amorfne strukture u kristobalit i kvarc - obično kripto ili mikrokristalinični).
- Za nastanak čerta potrebno je:
 1. veliko taloženje opala, s malim razrjeđivanjem,
 2. voda u kojoj je relativno povišena koncentracija otopljenog Si (u obliku ortosilicijeve kiseline, H_4SiO_4),
 3. relativno brzo ukopavanje (tj. velika brzina akumulacije sedimenta - za oceanske prostore), te
 4. kemijski uvjeti povoljni za očuvanje ljušturica.

Rožnjajci (čertovi)

- Tijekom dijageneze dolazi do parcijalnog otapanja Si iz ljušturica i devitrifikacije vulkanskog stakla.
- Taj otopljeni Si može biti ponovo istaložen unutar istog sedimenta (duž slojnih ploha ili u nekom drugačijem mikrookolišu u istom sedimentu).
- Tako mogu nastati rožnjački proslojci ili nepravilne konkrecije.



Nodule rožnjaka u flišu,
Vranduk, BiH



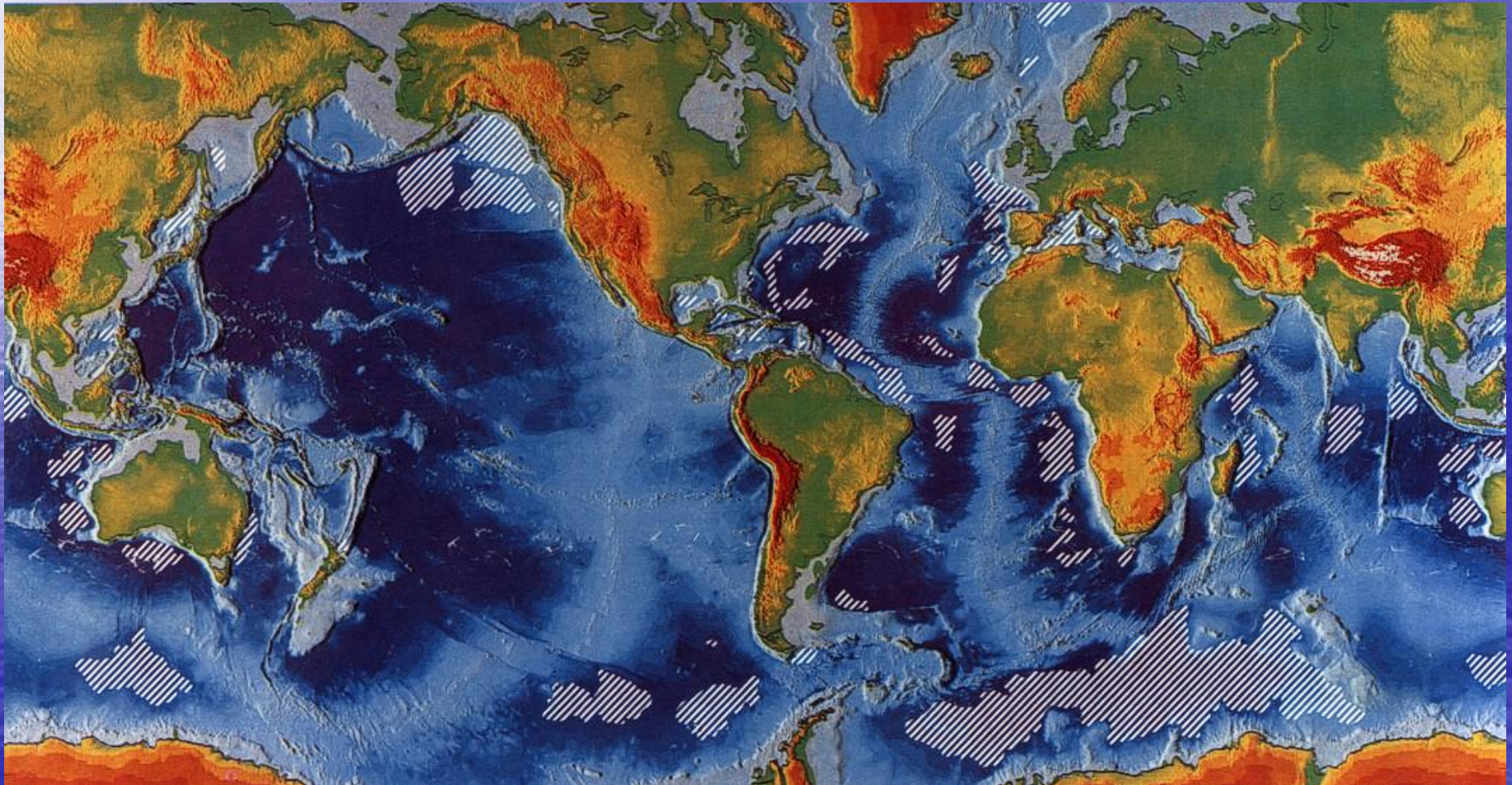
Rožnjačke konkrecije u lijaskom vapnencu, Vajont, Italija (Č. Benac)

Rožnjaci (čertovi)

- U pojedinim razdobljima geološke prošlosti zastupljenost rožnjaka u sedimentima veća je no u drugima.
- Može se pretpostaviti da je ukupni unos otopljenog Si u oceane (trošenjem kopna, vulkanizmom, hidrotermalnim aktivnostima na oceanskim hrptovima) mijenjao količinu raspoloživog opala.
- Promjenama u fertilitetu oceana mijenjao se pak raspored (*pattern*) sedimentacije.

Turbiditi

- Turbiditi, kao dodatni element dubokomorske (hemipelagičke) sedimentacije, važan su element koji značajno zaravnjuje dubokomorsko dno.



Turbiditi

- Značajan dio morskog dna pokriven je turbiditima.
- Ponovimo, u pleistocenu je incidencija turbidita bila znatno viša nego danas.
- Zašto?
- Zbog niže morske razine i akumulacije sedimenata bliže rubu šelfa.

