

Geologija mora

Klima i sedimenti (10)

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

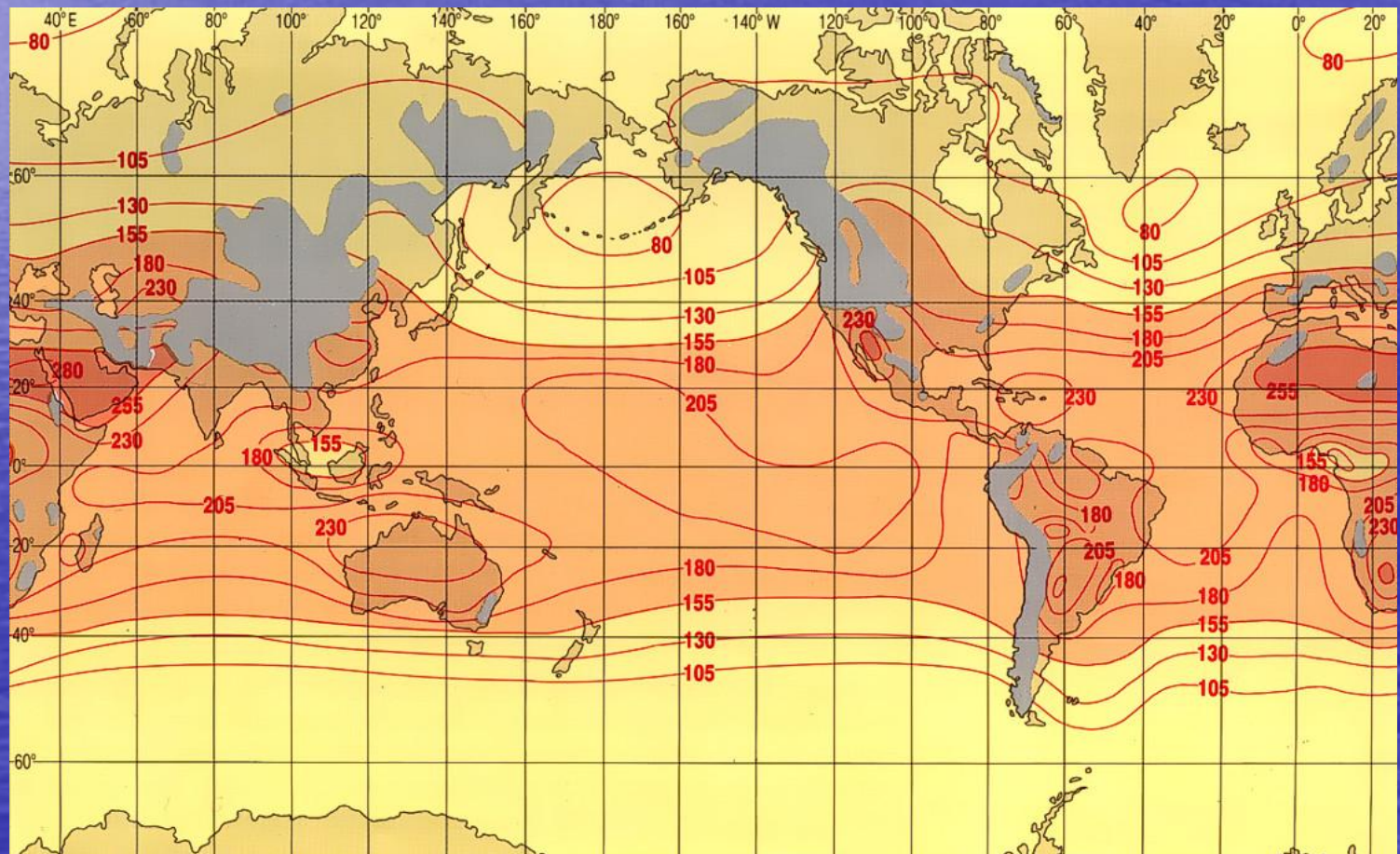
Klima i sedimenti

- Kako se današnje klimatske prilike odražavaju na sedimentima?
- Zašto o klimi i o promjenama klime na Zemlji?
- Koje su klimatske zone danas na Zemlji?
- Zašto je i kako Zemlja klimatski zonirana?

Klimatske zone

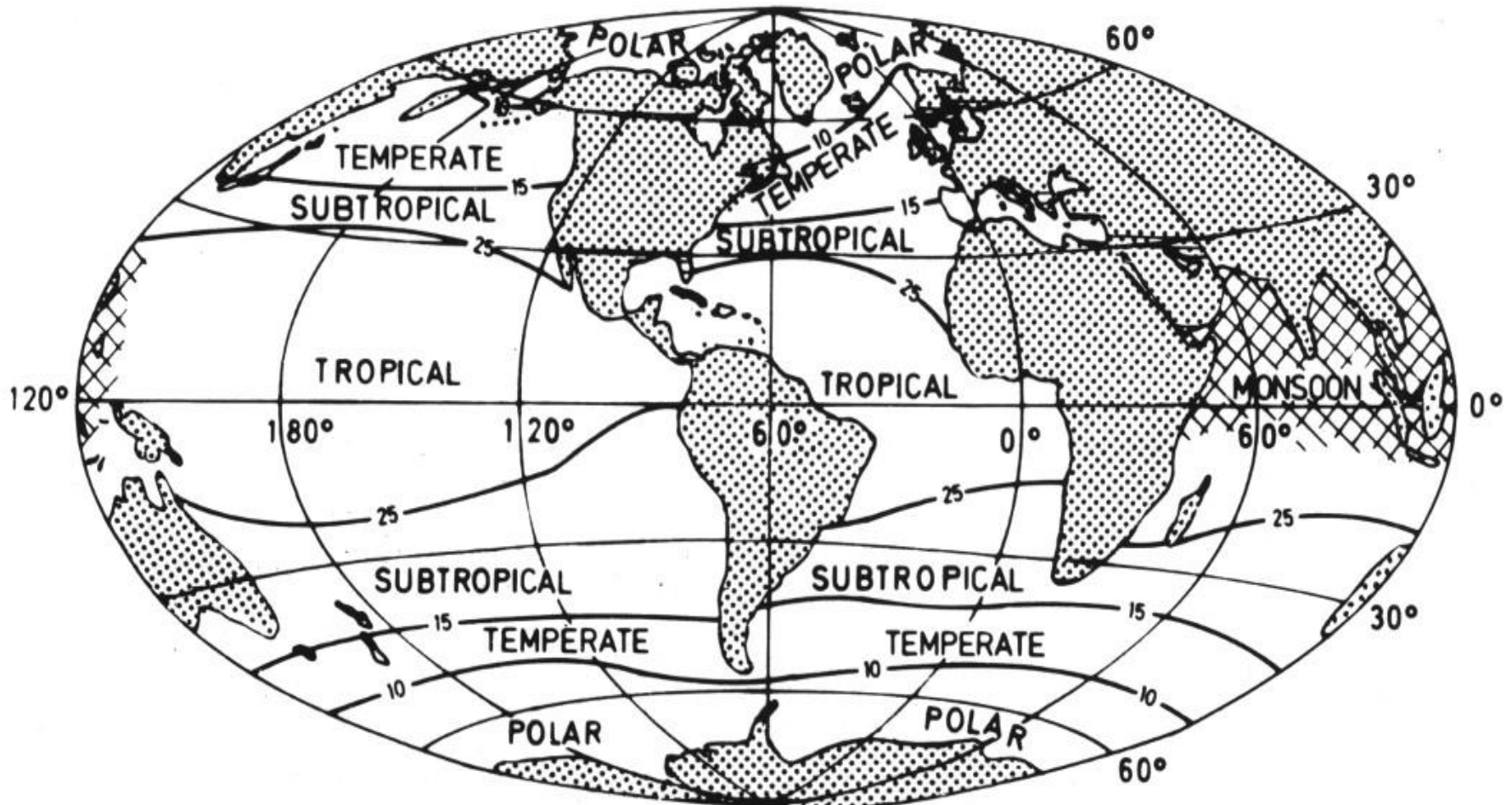
- Klimatska zonacija Zemlje ovisi o količini energije koju pojedina zona dobiva od Sunca

Količina
sunčeve
radijacije
primljene na
površini
Zemlje
U Wm^{-2}
(prosječno
tokom
godine)



Klimatske zone

- Razlikujemo tropsku, suptropsku, umjerenu, i polarnu (i subpolarnu) klimatsku zonu



Klimatske zone

- Za **tropsku** klimatsku zonu karakteristično je da prima višak topline (koji se izvozi - kako?), te **minimalne sezonske fluktuacije**.
- Prosječna temperatura oko 25°C do max. 30°C u otvorenim vodama. Oko ekvatora ima višak precipitacije (dnevne kiše, oblačno, slabi vjetrovi).
- Uz sami ekvator $\pm 2^\circ$ zbog ekvatorskog izdizanja (*upwelling*) velika je primarna produkcija.

Klimatske zone

- Za **suptropsku** klimatsku zonu karakteristične su pustinje, kako na kontinentima, tako i u oceanima.
- Višak evaporacije uvjetuje povišenu slanost, a fertile su jedino zone uz kontinente gdje dolazi do izdizanja voda (*upwelling*).
- Temperaturne varijacija su veće jer se sezonski klimatska zona može pomicati.

Klimatske zone

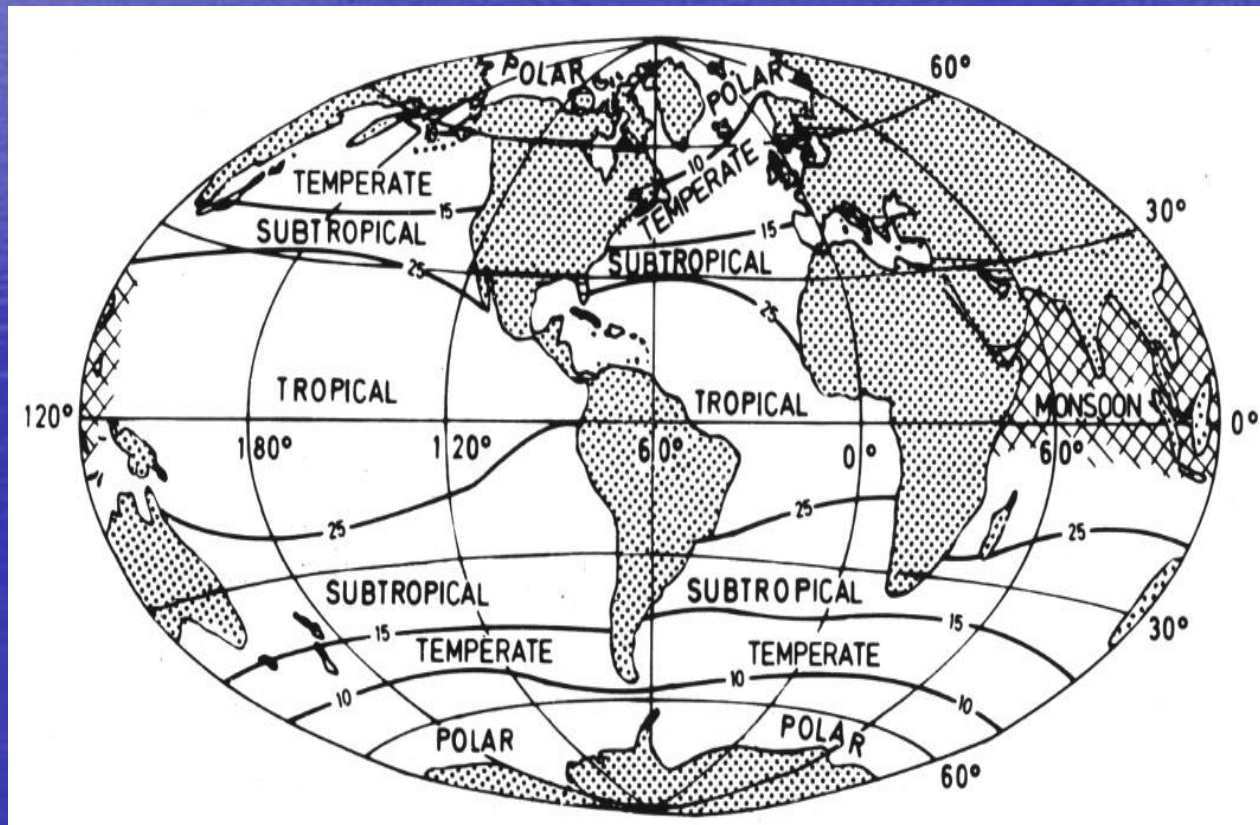
- Zona **umjerene** klime je karakteristična po znatnim sezonskim oscilacijama. Obično postoji višak precipitacije/nži salinitet.
- Prijelaz između toplog i hladnog dijela Zemlje uzrokuje velike temperaturne gradijente → snažni vjetrovi → dobro miješanje vode.
- To znači da su tu fertilne/plodne regije.
- U rubnim dijelovima zone prema hladnijim krajevima, miješanje vode je pojačano sezonskim nestankom termokline (zbog jačeg površinskog hlađenja).

Klimatske zone

- **Polarna** zona je najmanja površinom ali je važna za stvaranje klime.
- Ledenjački rub označava završetak temperaturnog gradijenta u moru, a taj zapravo uvjetuje (kontrolira) vjetrove, struje i evaporacijsko-precipitacijske odnose.

Klimatske zone

- Područje **monsunske** klime karakterizira izrazita sezonalnost
- Klimatske zone nisu sasvim paralelne geografskim širinama uslijed utjecaja zapadnih vjetrova i time uvjetovanih istočnih morskih struja.

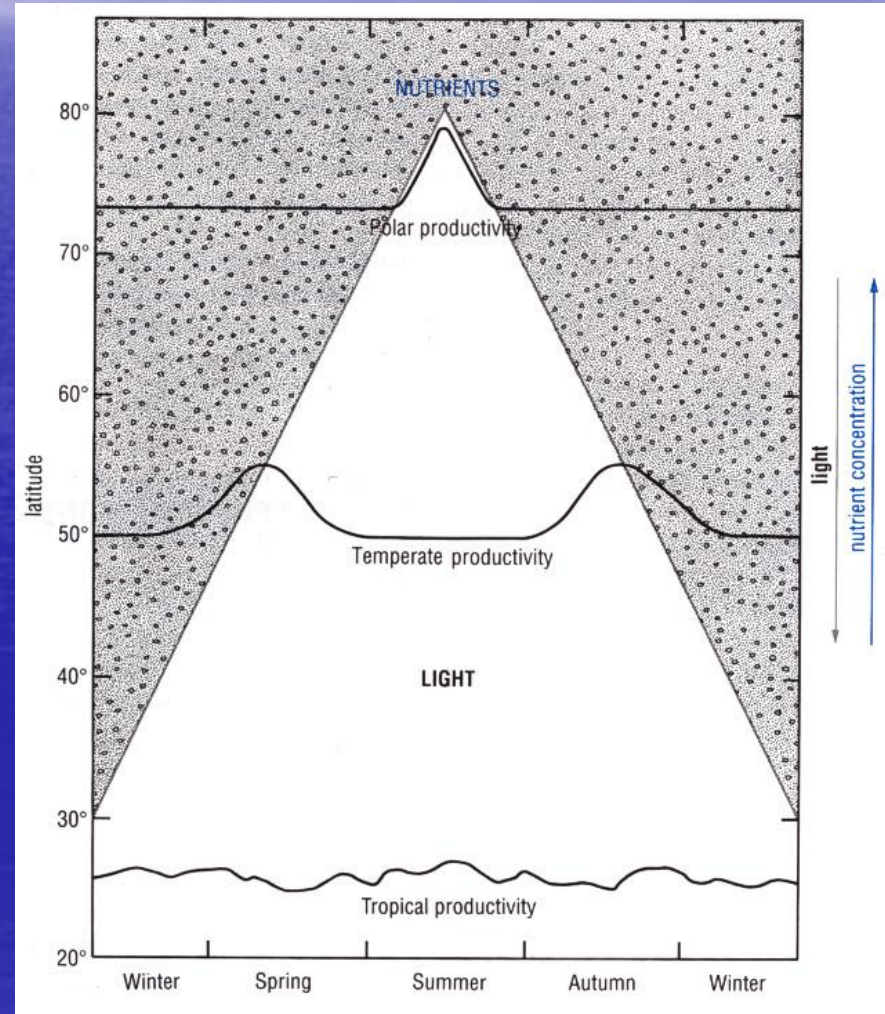


Kako klimatske karakteristike utječu na oceane?

- **Temperatura i fertilitet/plodnost** glavni su elementi na koje se odražavaju klimatski faktori u oceanima, posebno kad je riječ o stvaranju i razmještaju biogenih sedimenata.

Klima i oceani

- U polarnom pojasu **svjetlo** je limitirajući faktor te je to zona niske primarne produkcije.
- U tropskom i subtropskom pojasu **nutrijenti** su glavni limitirajući faktor primarne produkcije. U načelu tu su površinske vode osiromašene nutrijentima jer je razvijena termoklina koja onemogućuje miješanja voda.
- U obalnim zonama tropa i u umjerenom pojasu ima i nutrijenata i svjetla pa je to zona **visoke** (sezonske) **primarne produkcije**.



Biogena sedimentacija

- Za stvaranje i taloženje biogenih čestica u morima treba doći do **eksplozivnog fitoplanktonskog razvoja (cvjetanje mora)**.
- Da bi došlo do cvjetanja mora treba biti povišena koncentracija nutrijenata i slabo miješanje voda.
- Naime, miješanje voda uzrokuje izdizanje nutrijenata iz dubljeg mora, ali istovremeno vuče fitoplankton u dublje more gdje ne može (foto)sintetizirati novu organsku tvar, rasti i razmnožavati se!
- Stoga je važan slijed donosa nutrijenata i stvaranja stabilne stratifikacije što dovodi do optimalnih uvjeta za rast fitoplanktona.

Biogena sedimentacija

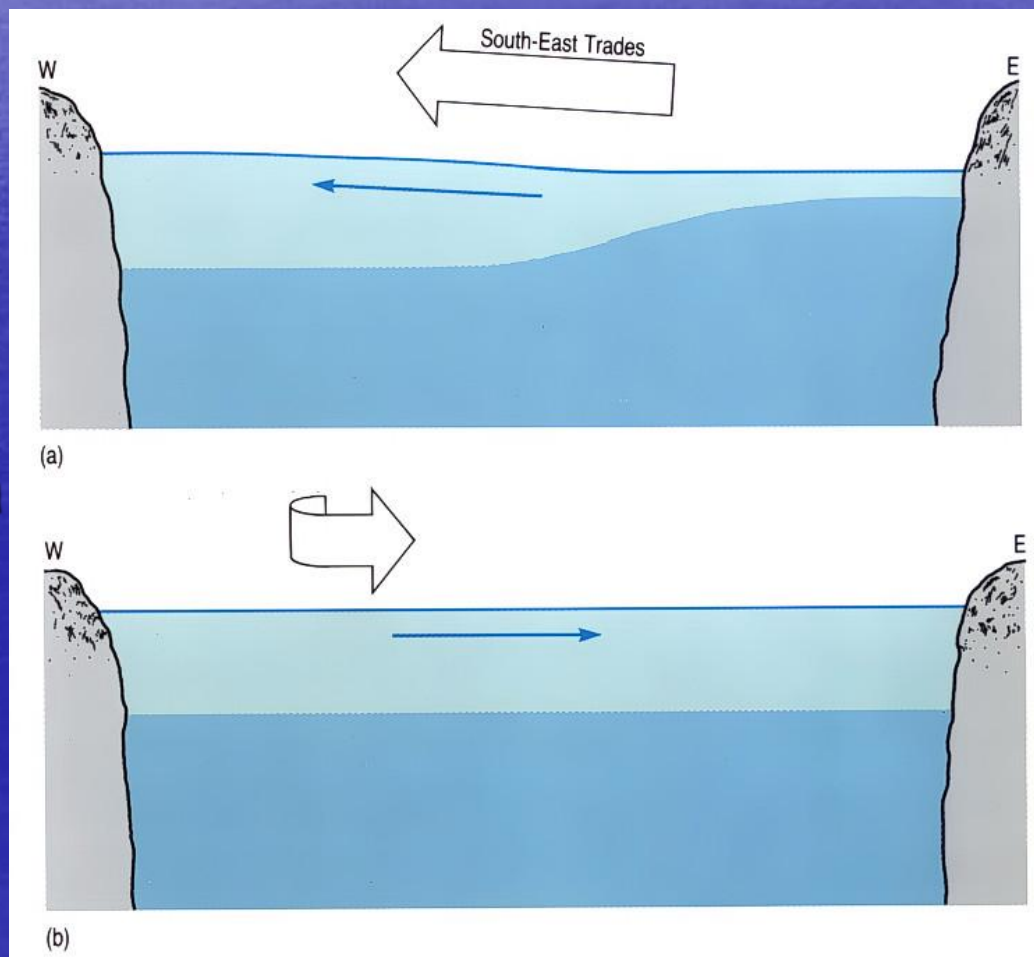
- Tako možemo objasniti povremene eksplozivne razvoje kokolitoforida ili dijatomeja u otvorenim morima, koji onda mogu dati veći dio materijala za biogene sedimente na morskome dnu - *kokolitoforidi* u niskim zemljopisnim širinama, *dijatomeje* u visokim širinama i obalnim područjima.
- Mjerenja brzine sedimentacije sedimentnim trapovima ukazuju na važnost ovog **koncepta epizodnog fluxa**, taloženja čestica.

Biogena sedimentacija

- Hladne temperaturne anomalije u suptropskom pojasu i duž ekvatora, pokazuju područja izdizanja voda (*upwelling*), koji su posebno važni za proizvodnju sedimenata bogatih organskom tvari (ali naravno i za ribarstvo).
- Donos nutrijenata u površinski dio oceana (fotičku zonu) ovisi o miješanju voda i o *upwellingu*.
- Izdizanje voda ima izražene sezonske varijacije, jer ovisi o vjetrovima, a ti su naravno vrlo varijabilni. Glavna područja izdizanja voda (*upwelling*) - ispred Perua, Kalifornije, sjeverozapadne Afrike, Namibije, te u Arapskom moru pokazuju stoga **veliku** ali i vrlo **varijabilnu produktivnost**.

El Niño, la Niña

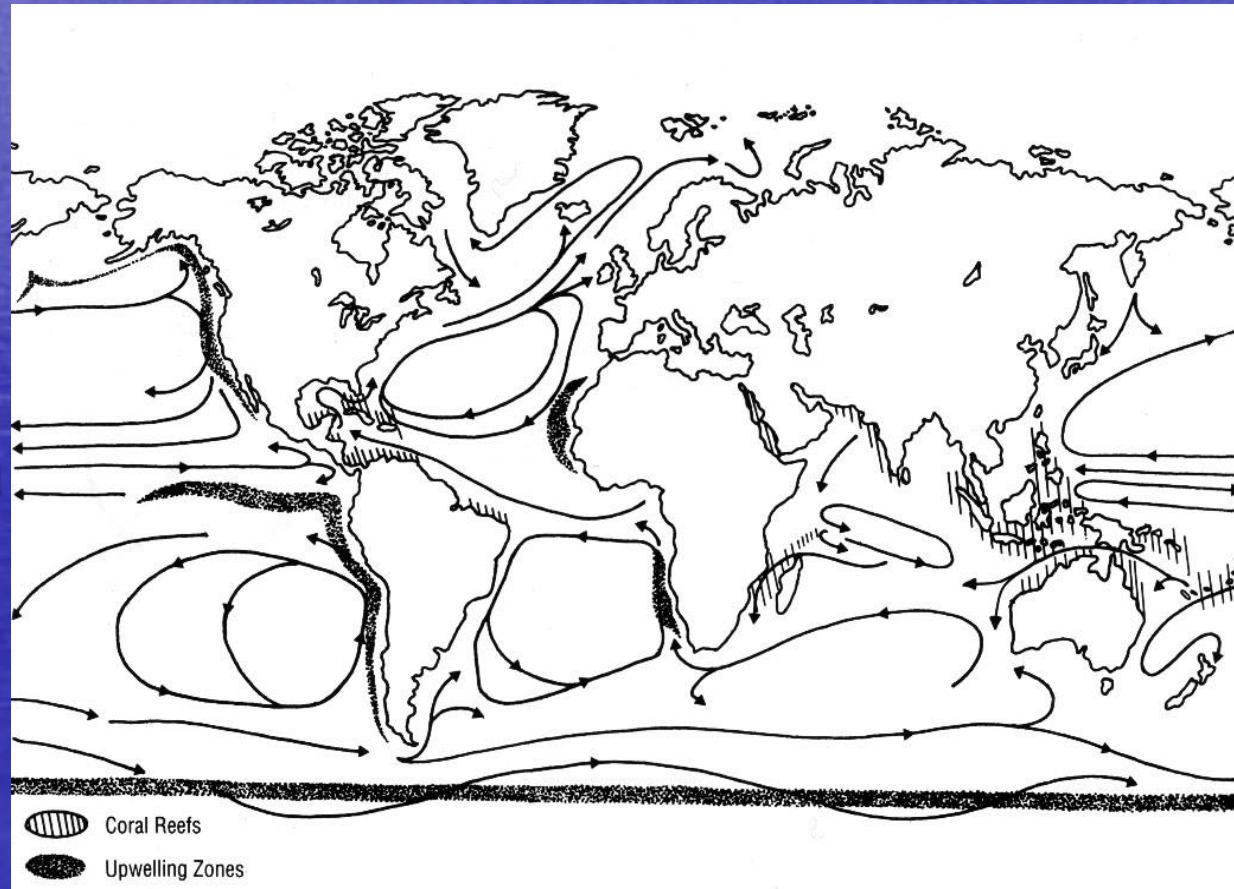
- U istočnom Pacifiku, *upwelling* nestaje svakih cca 3-4 godine na godinu dana otprilike. To je posljedica *El Niño* uvjeta (Isusek) kad se promijeni sustav atmosferske i morske cirkulacije. To ima vrlo i velike ekonomske posljedice (npr. u Peruu) jer se znatno smanji ribolov. Takvi uvjeti nastupaju obično oko Božića (zato je *El Niño*).



Biogena sedimentacija

- Kako su povezane zone upwellinga i područja rasta grebenotvornih koralja. Zašto?

- Eutrofna područja ne pogoduju rastu koralja (oni imaju simbiotske alge, koje stvaraju hranu za njih, a u zonama upwellinga je i morska voda hladnija i temperaturni uvjeti su nestabilni!



Klima i oceani

- Na kontinentima su veći sezonski kontrasti (kontinentska klima) no u oceanima.
- Sezonske razlike su značajne u Indiku (sjevernom). To je zona **monsunske klime**, a ta je karakteristična po tome da zimi struji hladni kontinentski zrak (suhi) sa sjeveroistoka te dolazi do upwellinga. Ljeti se situacija stubokom mijenja pa pušu jugozapadni vlažni monsun.
- To se odražava i na režimu površinskih struja u Indiku.

Klima i biogeni sedimenti

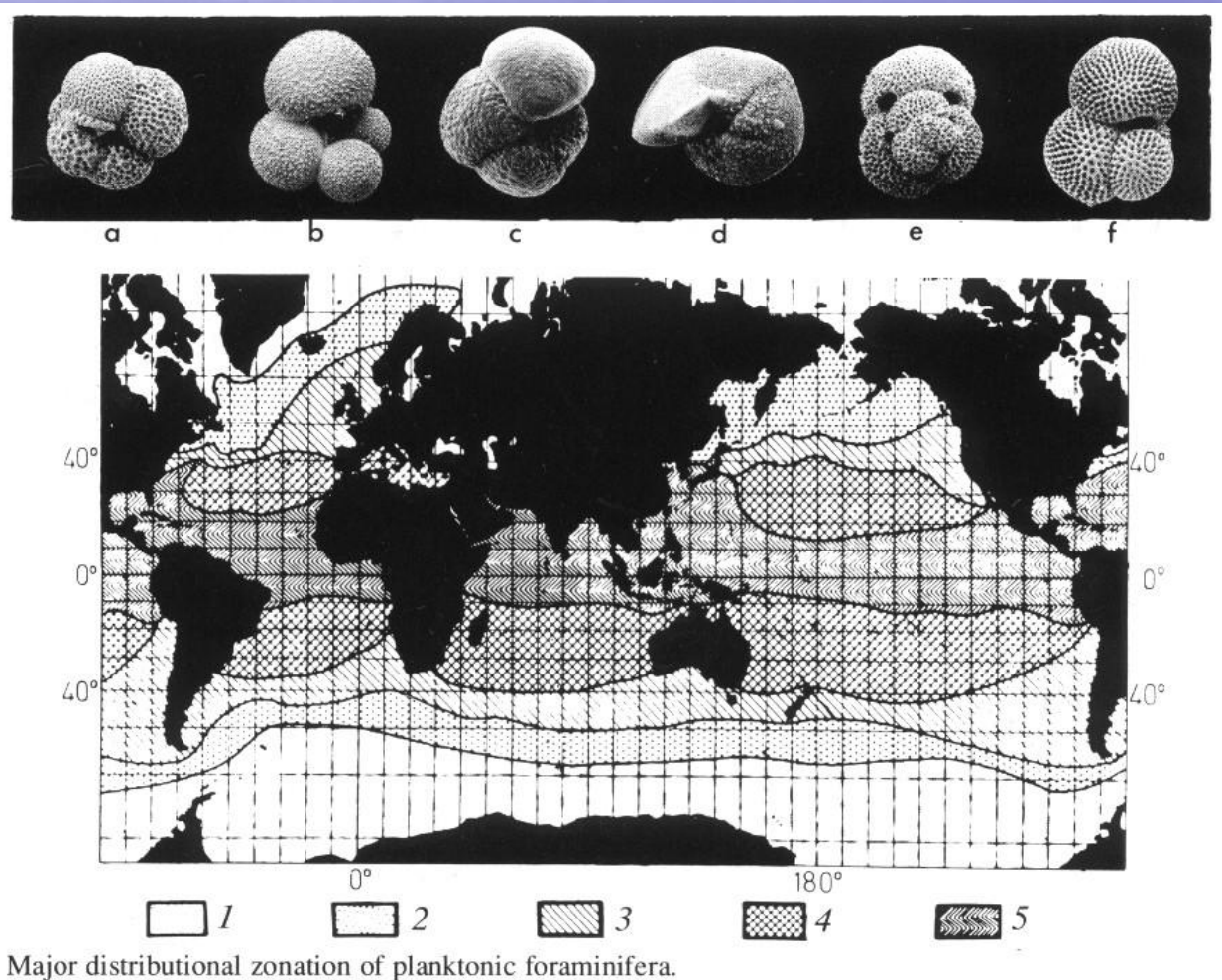
- **Biogeni sedimenti su odličan indikator klime.** Mnogi organizmi žive u uskim hranidbenim i temperaturnim uvjetima pa su analize njihovih ostataka dobre i za rekonstrukciju klime.
- Kemizam skeleta i školjki može također ukazivati na temperaturu, salinitet, i brzinu/stopu rasta.

Transfer metoda

- U vapnenačkim uzama (ooze) koje obiluju ostacima planktonskih organizama (**foraminiferama**) odlično se mogu rekonstruirati paleoklimatski odnosi (odnosno temperatura površinske vode - do 100 m - fotičke zone).
- Kako?
- Brojanjem relativnog udjela pojedine vrste u zajednici te uvrštavanjem u tzv. **transfer jednadžbu** (paleoekolog *John Imbrie*) može se izračunati izvorna temperatura površinskog sloja.

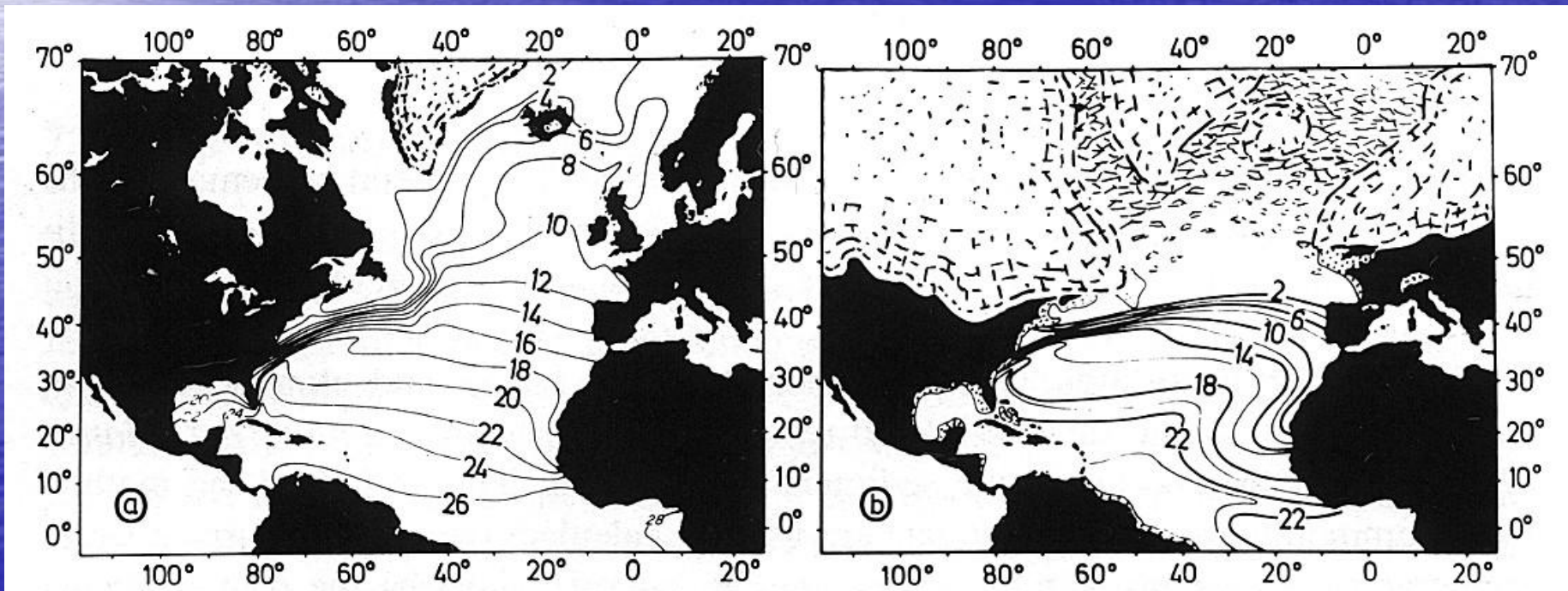
Transfer metoda

- Na temelju recentnih oceanografskih istraživanja napravljen je kalibracijski set koji pokazuje vjerojatnu zajednicu za pojedine temperaturne uvjete.
- Točnost dobivenih rezultata je $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$.



Transfer metoda

- Postoje i bolje transfer tehnike kao i faktor-regresijska analiza koja još utočnjava rezultat. Rezultat takvih istraživanja je CLIMAP projekt (Climate Long-Range Investigation Mapping and Prediction) kojim je dobivena distribucija temperatura u oceanima npr. prije 17.000 godina **K17 Map**.



Paleoklimatska rekonstrukcija

- Tada je polarni front bio između New York-a i Baskije (u vrijeme maksimuma glacijacije).
- Pomicanje takvog fronta je tipičan primjer **klimatske transgresije**, a važno je odrediti **brzinu/stopu promjene**.
- To je važno i za nas danas (da se vidi odgovor sustava na **klimatsko forsiranje** / promjene koja izvodi čovjek (CO₂, deforestacija i sl.)

Paleoklimatska rekonstrukcija

- Koja su ograničenja/problemi u paleoklimatskim rekonstrukcijama?
- Ne može se koristiti za određivanje onih faktora koji ne utječu na rast organizama.
- Primjerice promjene saliniteta u uobičajenim granicama 30-40 PSU, jer nikako ne utječe na čestinu foraminifera.

Paleoklimatska rekonstrukcija

- Zbog **bioturbacije** na morskome dnu mogu se miješati materijal i zajednice različite starosti odnosno klimatskih karakteristika.
- **Diferencijalno otapanje** ljušturica dovodi do **selektivnog očuvanja** planktonskih ostataka na morskome dnu. Ljušturice debljih stijenki se bolje očuvaju tj. koncentriraju se u sedimentu za razliku od tankostijenih.
- Prilikom rekonstrukcije dublje u geološkoj prošlosti: može se dogoditi da se mijenjao temperaturni optimum pojedinoj vrsti!

Paleoklimatska rekonstrukcija

- I pomoću ostataka bentičkih organizama mogu se rekonstruirati klimatske prilike i uvjeti u okolišu.
- Planktonske su zone široke, dok je za **šelfske bentičke zajednice** karakteristična jaka regionalna komponenta.
- **Dubokomorske zajednice** nisu pod velikim utjecajem klimatskih promjena jer su stabilni hladni uvjeti u cijelom svjetskom oceanu. Tamo je važan kisik.

Raznolikost vrsta i kemijski sastav skeleta kao indikatori klime

- Promjena klimatskih uvjeta može se odrediti i prema statističkom odnosu pojedinih vrsta, prema stupnju raznolikosti (diverziteta) ili prema dominaciji pojedine vrste.
- **Diverzitet** se mora definirati. Realno je prema broju vrsta u standardiziranom uzorku (po veličini).
- Za svaku dovoljno veliku grupu plitkovodnih organizama (i bentičkih i planktonskih) broj vrsta je velik u tropima i smanjuje se prema polovima. Stoga dakle postoji **gradijent raznolikosti** paralelan s globalnim temperaturnim gradijentom.

Raznolikost vrsta i kemijski sastav skeleta kao indikatori klime

- U obalnim uvjetima pod utjecajem nekog stresa (salinitet, mutnoća) raznolikost se može smanjiti i neovisno o temperaturi.
- **Dominacija** neke vrste je česta u zonama male raznolikosti, jer uvjeti u okolišu isključuju kompeticiju ili predatore ili oboje.
- Dominacija upućuje na stresne faktore (izolirane lagune, brakična rubna mora)
- Arktički šelf ili zagađeni okoliši pokazuju takvu malu raznolikost i veliku dominaciju pojedinih vrsta zbog fizičkog stresa.

Raznolikost vrsta i kemijski sastav skeleta kao indikatori klime

- Primjer takvog stresnog okoliša su i Mljetska jezera, prvenstveno jer u njima dolazi do hipoksije ili čak anoksije
- Broj vrsta foraminifera: 12, 18, 38, 55.



Kisikova metoda

- **Temperature** u paleoklimatskoj rekonstrukciji. Mogu se rekonstruirati i temeljem izotopnog sastava kisika u skeletu / ljušturama organizama koji su živjeli u takvim morima.
- To je **metoda kisikovih izotopa** koju je 1952. g. uveo poznati kemičar H.C. Urey
- Kod nas 70ih godina prvi puta primijenio prof. Ante Polšak (na rudistima iz Istre).

Kisikova metoda

- Princip metode se sastoji u tome da će odnos izotopa kisika ^{16}O i ^{18}O biti različit u karbonatima koji se talože iz vodene otopine ovisno o temperaturi pri kojoj dolazi do taloženja (**izotopska frakcionacija**).
- U hladnijoj vodi ugrađuje se više ^{18}O .
- Eksperimentalna određivanja izotopskog sastava ljuštura organizama koji su rasli u moru različite temperature pokazali su direktnu ovisnost koja se može izraziti jednačinom:

$$t = 16,5 - 4,3 (\delta_s - \delta_v) + 0,14 (\delta_s - \delta_v)^2$$

t = temperatura, δ_s (delta) = odnos kisikovih izotopa u skeletu, a δ_v = odnos kisikovih izotopa u vodi u kojoj je rastao organizam.

Kisikova metoda

- Delta (δ) opisuje devijaciju odnosa ^{18}O prema ^{16}O od standarda (standard je belemnit), kao frakcije standarda.

$$\delta = \frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{(\text{uzorka})} - ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{(\text{standarda})}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{(\text{standarda})}} \times 1000$$

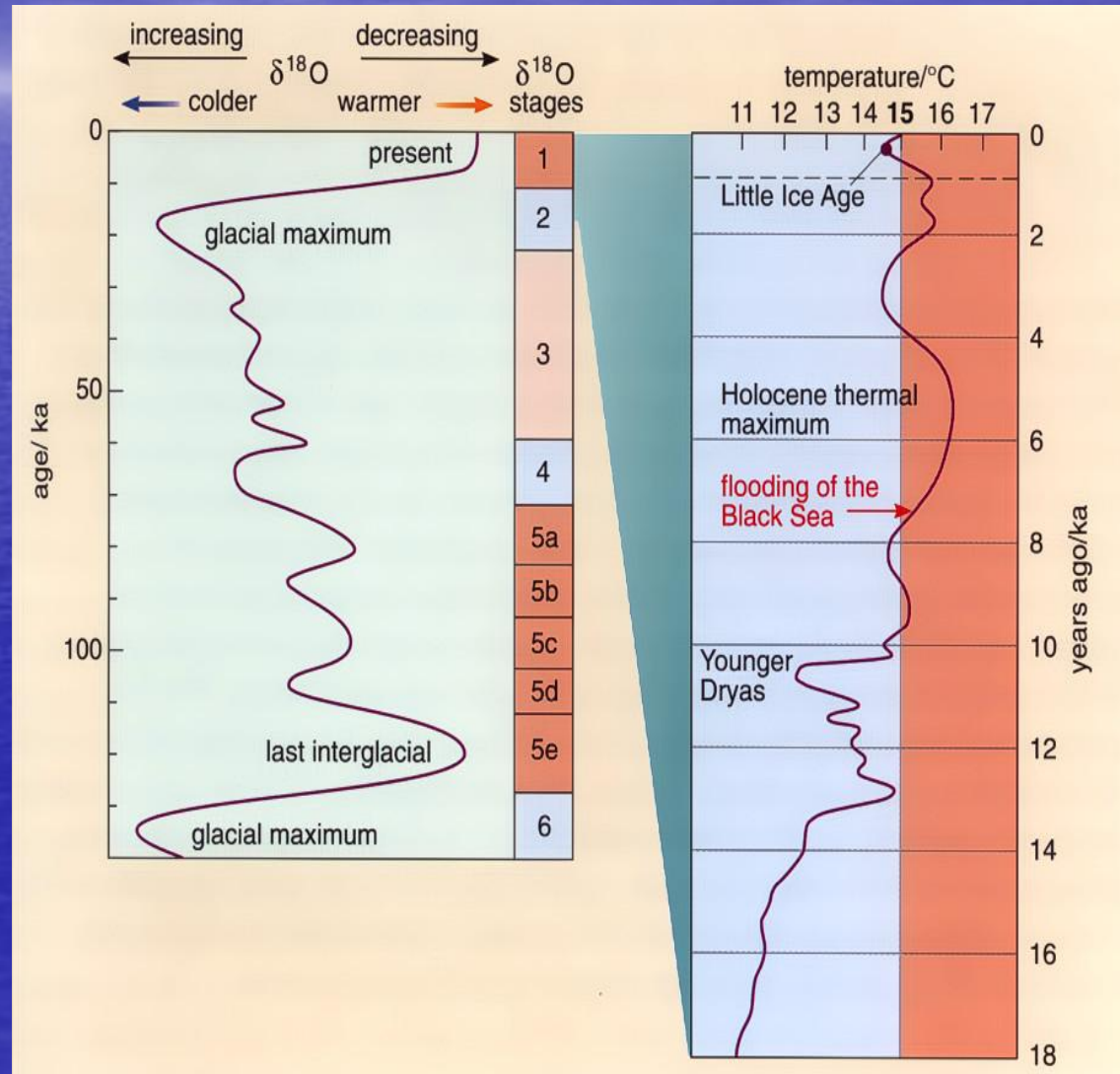
- Izražava se u promilima (PPT) jer su oba dijela pomnožena s 1000.

Kisikova metoda

- Za paleoklimatsku rekonstrukciju treba znati da li se mijenjao odnos izotopa u morskoj vodi?
- Odnos izotopa ovisi o salinitetu i odnosu evaporacije/precipitacije (evaporira više ^{16}O no ^{18}O),
- Razlika je u istom smjeru, povećava se koncentracija ^{18}O u moru u ledenim dobima, a u hladnome moru ledenog doba više ^{18}O ugrađuje se u foraminiferske skelete. Uz to treba znati i salinitetne uvjete da se može rekonstruirati temperatura.
- Osim navedenog mora biti zadovoljen i uvjet **izotopne ravnoteže** organizma s vodom (precipitacija karbonata kod foraminifera i školjkaša je u ravnoteži, dok za niz drugih vrsta to ne vrijedi).

Kisikova metoda

- U svakom slučaju kisikova metoda se pokazala vrlo upotrebljivom i na njoj se temelji stratigrafija kisikovim izotopima – temelj pleistocenske stratigrafije.
- Isotopna razdoblja (OIS, MIS): neparna razdoblja su topla, parna hladna



Kemijski sastav skeleta kao indikator klime

- Za rekonstrukciju uvjeta u okolišu koriste se i odnosi dva stabilna ugljikova izotopa (^{12}C i ^{13}C)
- Glavni regulator udjela ^{13}C (izotopne frakcionacije) je brzina rasta ljušture (manje ^{13}C se ugrađuje pri brzome rastu!)
- Udjel Mg u karbonatu raste s temperaturom, no tu su samo početna istraživanja.
- Odnos aragonita prema kalcitu se, izgleda, također može mijenjati s temperaturom. U starijim stijenama aragonit nestaje zbog pretvorbe metastabilnog aragonita u kalcit.

Ostali važni indikatori klime

- **Koraljni grebeni** su indikatori tropske klime (to je plitkovodni okoliš s najvećom biološkom raznolikošću *species diversity*, >3000 vrsta u indopacifičkim grebenima),
- **Evaporiti** (sol, gips pa i dolomit) mogu indicirati suptropske uvjete jer je važan manjak precipitacije odnosno veća evaporacija).
- Za trope je karakteristična i **lateritizacija** proces izluživanja feldspata, te **kaolinit** kao karakteristični mineral - produkt trošenja (*weathering*). To su kopneni indikatori klime.

Ostali važni indikatori klime

- Postoje i **fizikalno-geološki** indikatori klime:
- vezani uz led i ledenjake (gole stijene, strije, poliranje podloge, morene, eratički blokovi pa i prapor).
- Rijeke u visokim širinama nose pretežno silt (prah) što je zanimljiv sedimentološki fenomen. Vjerojatno je posljedica pretežno mehaničkog trošenja u ciklusu zaleđivanje-odleđivanje.
- Time nastaje materijal koji može biti otpuhan da stvori prapor (les -löss) u periglacialnom području!

Ostali važni indikatori klime

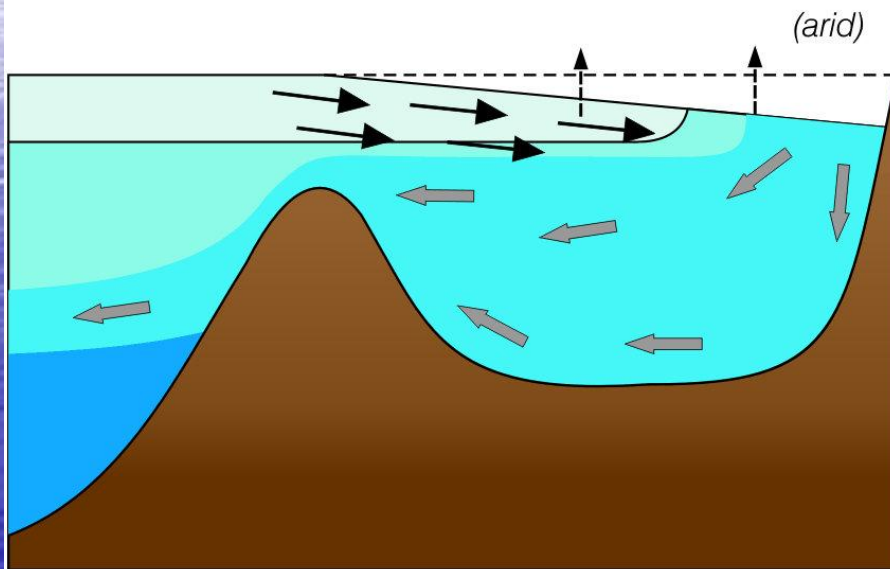
- Zanimljivi paleoklimatski indikatori mogu se izvući i iz **poluzatvorenih mora**. Prvenstveno o odnosu aridno/humidno (! u moru), no toplo/hladno.
- **Salinitet** vode odražava humidnost! Iako salinitetne razlike postoje i u otvorenim vodama, pojačani efekti se vide posebno u rubnim poluzatvorenim "*restricted*" dijelovima oceana. Tako su nam vrlo dobar paleoklimatski indikator.

Estuarijski i antiestuarijski tipovi sedimentata i klima

- Kakve sedimenti će se taložiti u uvjetima estuarijske, a kakvi u uvjetima antiestuarijske cirkulacije?

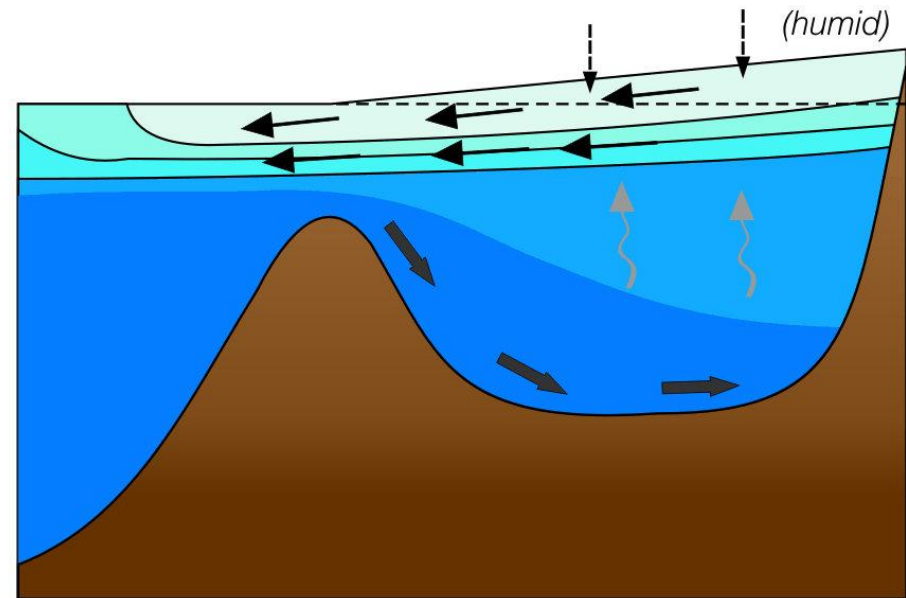
Exchange currents

Atlantic - Gibraltar - Mediterranean



Antiestuarine circulation

Mediterranean - Bosphorus - Black Sea



Estuarine circulation



Estuarijski i antiestuarijski tipovi sedimentata i klima

- Za **humidne** krajeve karakteristični su estuariji (salinitet 10-30), s brakičnom faunom, školjkašima tankih ljuštura i sl. Za rubne lagune karakteristična su tresetišta.
- Ukoliko se dogodi da nema značajnog miješanja voda javlja se **stabilna stratifikacija** i nastaju zone bez otopljenog kisika (i zbog bogatstva nutrijenata s kopna tekućicama) pa nastaju **stagnantni uvjeti**.

Estuarijski i antiestuarijski tipovi sedimentata i klima

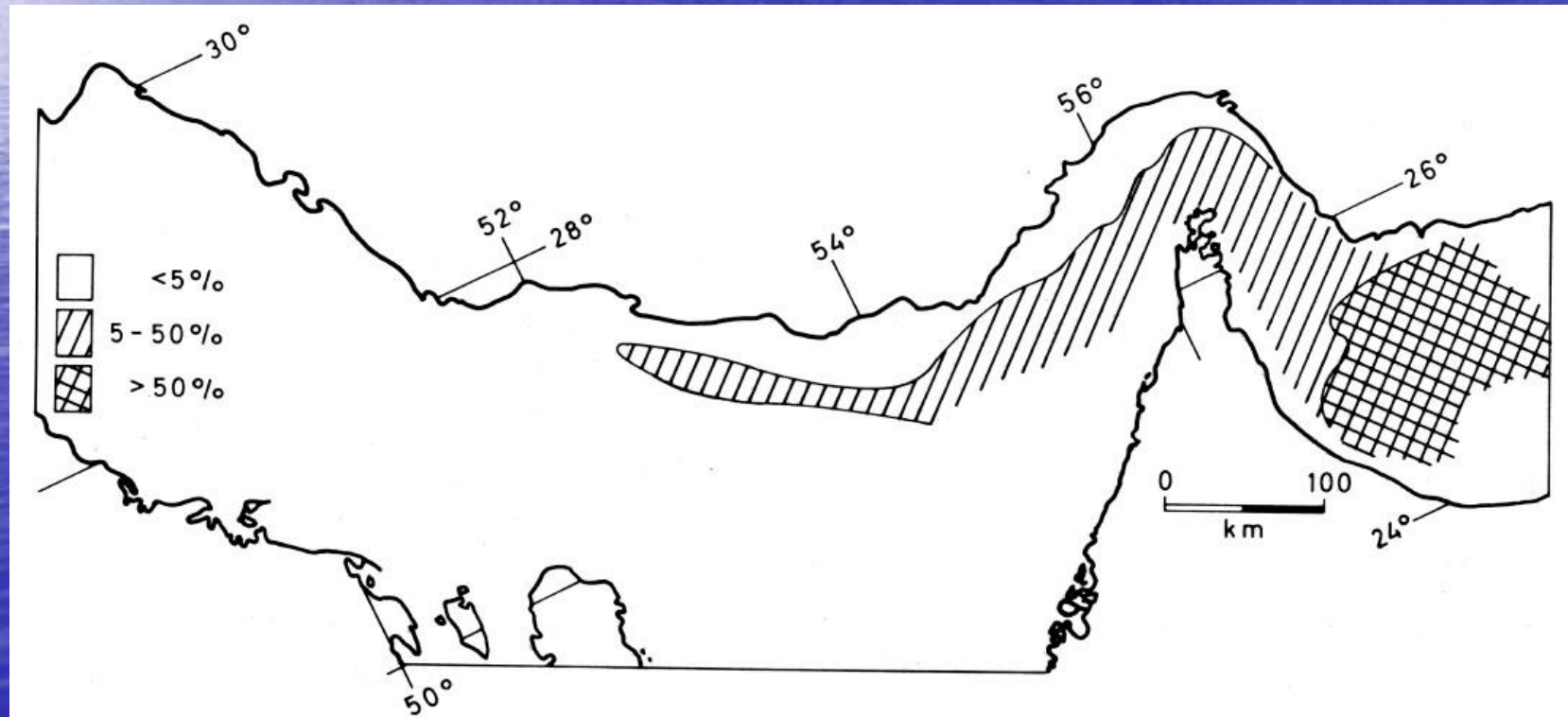
- Kod **stabilne stratifikacije** i **stagnantnih** uvjeta smanjuje se koncentracija otopljenog kisika.
- Pri smanjenju koncentracije kisika ispod 1 ml/l nestaju organizmi koji stvaraju karbonatnu ljušturu, ima puno nematoda, anelida, nekih rakova.
- Kod 0.1 ml/l preostaju samo protisti i anaerobne bakterije!
- Ponavljanje:
 - očuvanja organske tvari, pirit, laminacija.
 - primjer Baltičkog mora.

Estuarijski i antiestuarijski tipovi sedimentata i klima

- primjer (Arapsko/Perzijskog) Zaljeva u aridnoj klimi i s antiestuarijskim sustavom cirkulacije voda
- Mala primarna produkcija koju ograničavaju nutrijenti kojih ima malo u oceanskoj vodi koja ulazi površinom u zaljev. Sedimenti se odlikuju niskom koncentracijom organske tvari (0,5 - 1 %), velikim udjelom karbonata, bentičkim organizmima na svim dubinama, intenzivnom bioturbacijom, i nedostatkom laminacije.

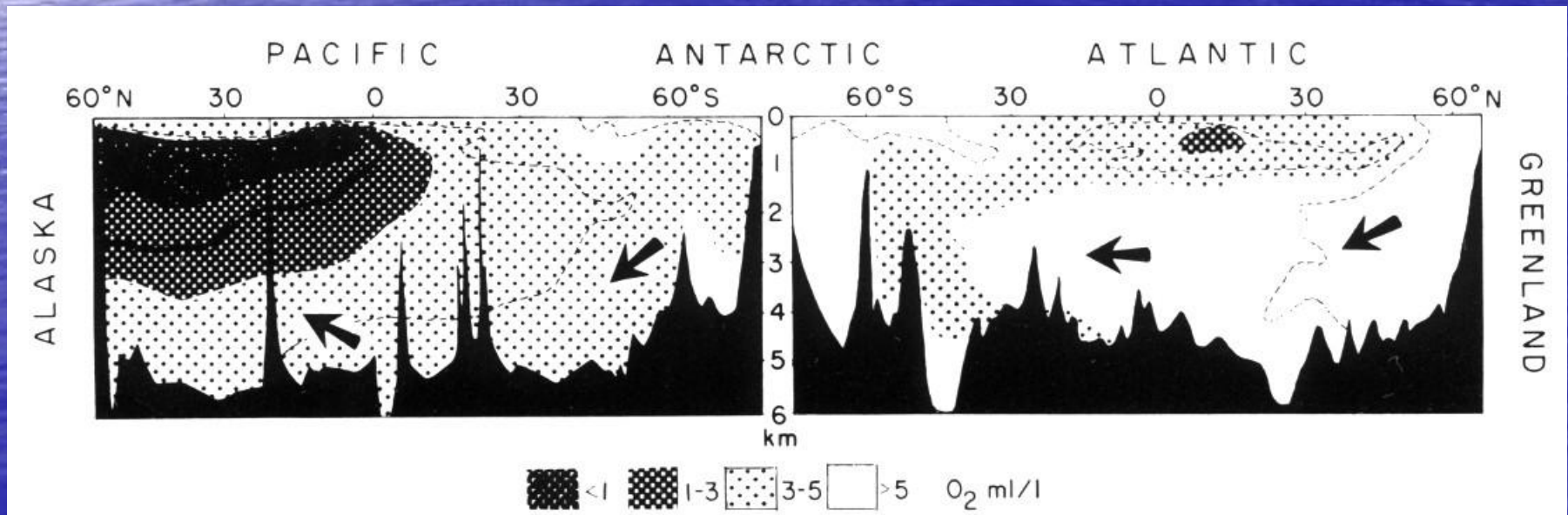
Estuarijski i antiestuarijski tipovi sedimentata i klima

- Raspored oceanskih planktonskih foraminifera pokazuje put površinske vode. Porastom saliniteta planktonske foraminifere nestaju, a to se posebno dobro vidi iz omjera planktonskih i bentičkih foraminifera u sedimentu.



Estuarijski i antiestuarijski tipovi sedimentata i klima

- Razmatranja o cirkulaciji voda, otopljenom kisiku, mogu se primijeniti i u velikim pa i oceanskim bazenima.
- Mediteran je primjer antiestuarijskog tipa, a Crno more estuariskog tipa sedimentacije.
- Razlika u cirkulaciji voda i sedimentaciji u Pacifiku i Atlantiku:



Estuarijski i antiestuarijski tipovi sedimentata i klima

- U sjevernom Atlantiku, kojeg si možemo predstaviti kao antiestuarijski aridni sustav, voda ponire i nosi kisik prema dnu, sedimenti imaju puno karbonata i malo organske tvari. Niska je koncentracija otopljenog opala pa se radiolarije i dijatomeje brzo otapaju.
- Suprotan je primjer sjevernog Pacifika (kojeg možemo shvatiti i kao estuarijski tip). Niski površinski salinitet u višim širinama (stratifikacija voda). Sedimenti s malo karbonata, imaju više dijatomeja i organske tvari (posebno na padinama) a veći dio morskog dna pokriven je manganskim konkrecijama.
- Kakve su konzekvence na sadašnje klimatske promjene?

