

Geologija mora

Izvori i sastav sedimenata i
morske vode (4)

Tipovi sedimenata u moru (5)

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

Sedimenti

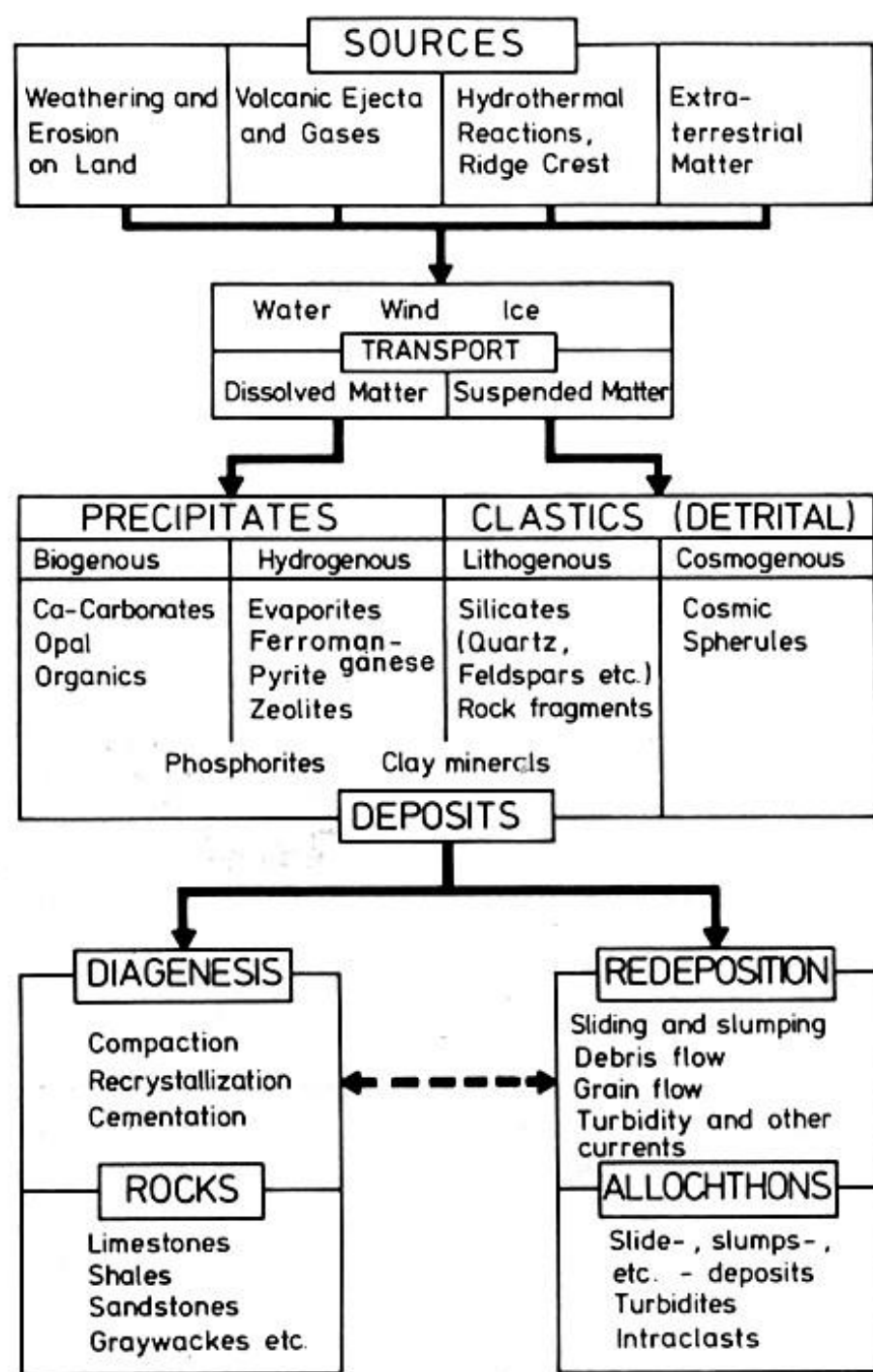
- Najveći dio morskoga dna prekriven je sedimentima.
- Morski su sedimenti vrlo različiti. Imaju ostataka trošenja kopna, ljuštura i organskih ostataka organizama, soli istaloženih iz morske vode, te vulkanskog pepela i plovučca.
- Većina sedimenta nastaje kao posljedica trošenja stijena na kopnu. Djelovanje vode i leda, te temperaturne promjene krše (razlažu) stijene u male čestice, a voda ih izlučuje otapajući manje otporne minerale.

Sedimenti

- **Sedimentacijski ciklus** uključuje trošenje stijena, prijenos tvari i taloženje čestica.
- Posebna je priča "trošenje" (*weathering*) bazalta na oceanskim grebenima. Tu su važne reakcije zagrijane/korozivne morske vode i bazalta. To su i mogući izvori silicija, teških metala pa i drugih sastojaka u morskoj vodi.
- More i vlastitom snagom (valovi i morske mijene) oduzima materijal kopnu (obali), te ga taloži pretežno na šelfu, ali dio i stiže do slaza i dubokomorskih prostora.

Sedimentacijski ciklus

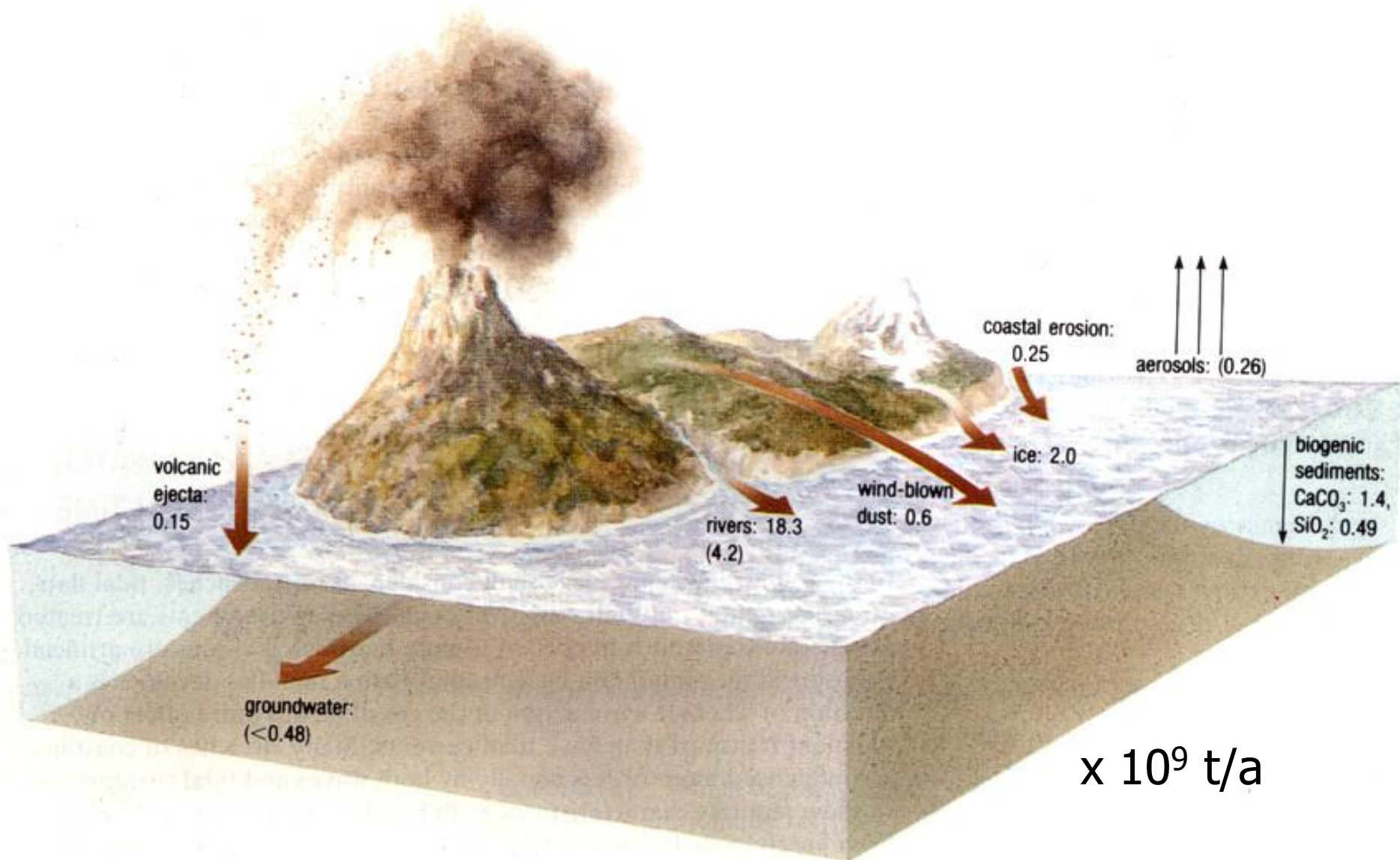
Ima li i koja je razlika između sedimentata i sedimentnih stijena?



Izvori materijala za morske sedimente

- Najviše materijala koji se taloži u moru dolazi **rijekama**. To su ili **čestice/partikule** ili **otopljeni materijal (ioni, koloidi)**.
- S tim u vezi u literaturi se navodi **DTI** (*dissolved transport index*) koji kazuje koliki postotak ukupnog elementa (metala, tvari) dolazi rijekom u otopljenom obliku. U prosjeku je to oko 20 %, tj. od ukupne količine materijala 80 % dolazi kao suspendirani materijal i vučeni nanos, a svega 20% stiže otopljeno rijekama.
- **Procjene** globalne količine materijala koji se taloži u moru izvode se dvojako:
 - 1. Procjenom trošenja (*weathering*) kopna i
 - 2. Procjenom ukupne godišnje sedimentacije.
- Time dolazimo do procjene o donosu **oko 12 km³/godišnje** otopljenog i suspendiranog materijala rijekama u more.

Izvori i donos materijala u more



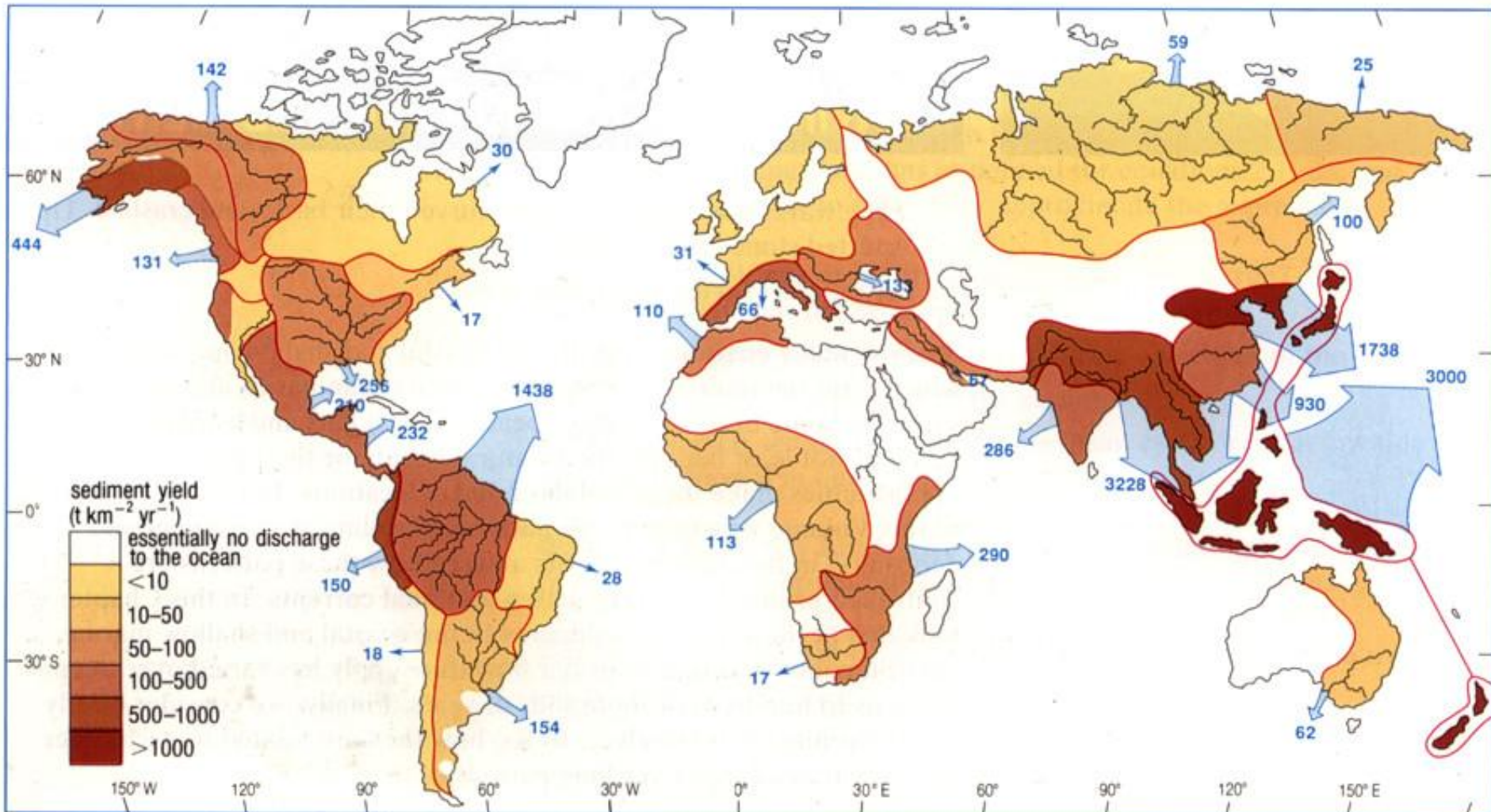
Donos materijala u more

- Na slici zasigurno nisu prikazane prave vrijednosti ali redovi veličina i relativni omjeri odgovaraju.
- Tolike količine materijala odgovaraju brzini trošenja kopna od prosječno **60mm/1000godina** (0.06mm/a) i prosječnoj sedimentaciji u svjetskom moru od **30mm/1000godina** (0.03mm/a).
- Na temelju mjerenja brzina sedimentacije u oceanima (**bez šelfa**) dolazi se do procjene o sedimentaciji od **15mm/1000 god.** i to ovako:
 - a) slaz i podnožje / 10% oceana x cca 100 mm/1000a
 - b) duboko more / 90% oceana x 5 (1-20) mm/1000a

Trošenje kopna

- **Mehaničko** prevladava u visokim širinama (led) i pustinjama (bez vode), dok **kemijsko trošenje** (otapanje, korozija) prevladava u tropima (viša temperatura i puno vode). Stoga su i raspored trošenja kopna i količine materijala koje rijekama dolaze u mora vrlo nejednoliko raspoređene u Svijetu!

Nejednoliko trošenje kopna



Trošenje kopna

- Manje važni načini donošenja i izvori materijala za marinske sedimente su ledenjaci, donos vjetrovima i vulkanizam.

Ledenjaci

- **Ledenjaci** nose puno materijala do šelfa ali ledene sante mogu materijal različitih veličina (blokove) nositi puno dalje. Danas se na oko 20% morskog dna talože ledom transportirani sedimenti.
- U pleistocenu su trošenje ledom i prijenos ledenjacima i santama bili znatno važniji no danas ili pak u starijoj geološkoj prošlosti.

Vjetar / eolski transport

- Suprotno ledenjacima vjetar nosi samo sitnozrnati materijal. Poznate su žute kiše /saharski materijal u Europi ali i Mediteranu. Procjenjuje se da je atmosferski prijenos važan za sedimentaciju u dubokomorskim predjelima gdje je sedimentacija vrlo mala.
- Neka istraživanja upućuju da većina dubokomorskih glina nastaje donosom materijala vjetrom. Te gline se talože brzinom od 1mm/1000 god (sjeverni Pacifik) do 2,5 mm/1000god (u Atlantiku).
- Danas je atmosferski transport važan prilikom istraživanja širenja zagađivala i geolozi su uključeni u takva istraživanja.



Satellite view of the Mediterranean region (SesWiFS image taken on 18 July 2000). A plume of wind-blown dust extends from North Africa across the Mediterranean to Sicily and Western Greece, Celal Sengor (2003a) has linked this kind of wind storm from the south with the flood myths of ancient Greece and Mesopotamia. (Fisher & Garrison, 2009)

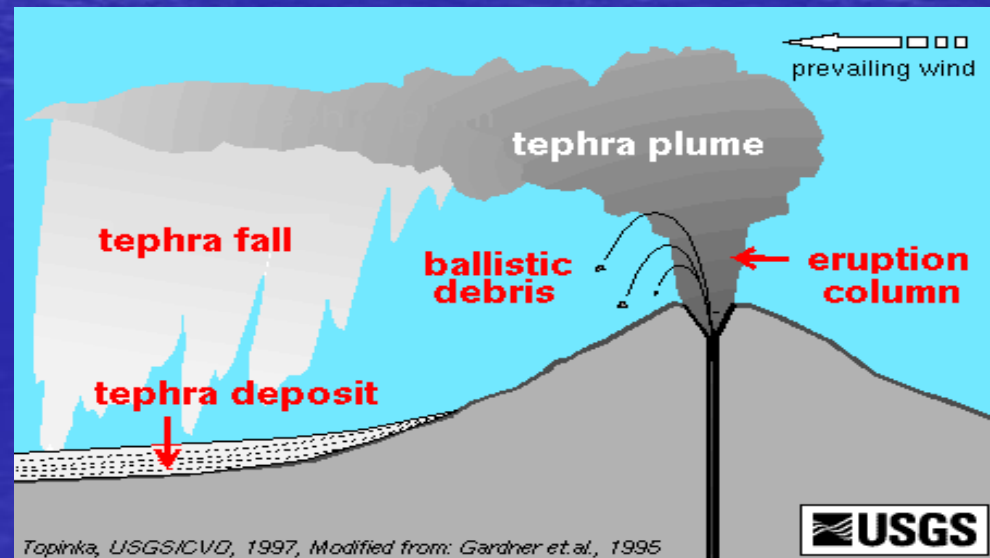
Vulkanski materijal

- **Vulkanskom aktivnošću nastaje značajna količina materijala koji se taloži u morima.**
- **No ta aktivnost je vrlo neredovita (epizodna).**
 - 1815. g. Indonezijski vulkan Tambora eruptirao je 40×10^9 tona ili 30 km^3 vulkanskog materijala koji je otišao visoko u atmosferu i bio raznesen vjetrovima da bi konačno ipak završio u morima.
 - Pinatubo, Filipini 1991 - 10 km^3
 - Krakatau, Indonezija 1883 - 18 km^3
 - Toba, Indonezija prije ~ 74.000 godina - 2800 km^3



Vulkanski materijal

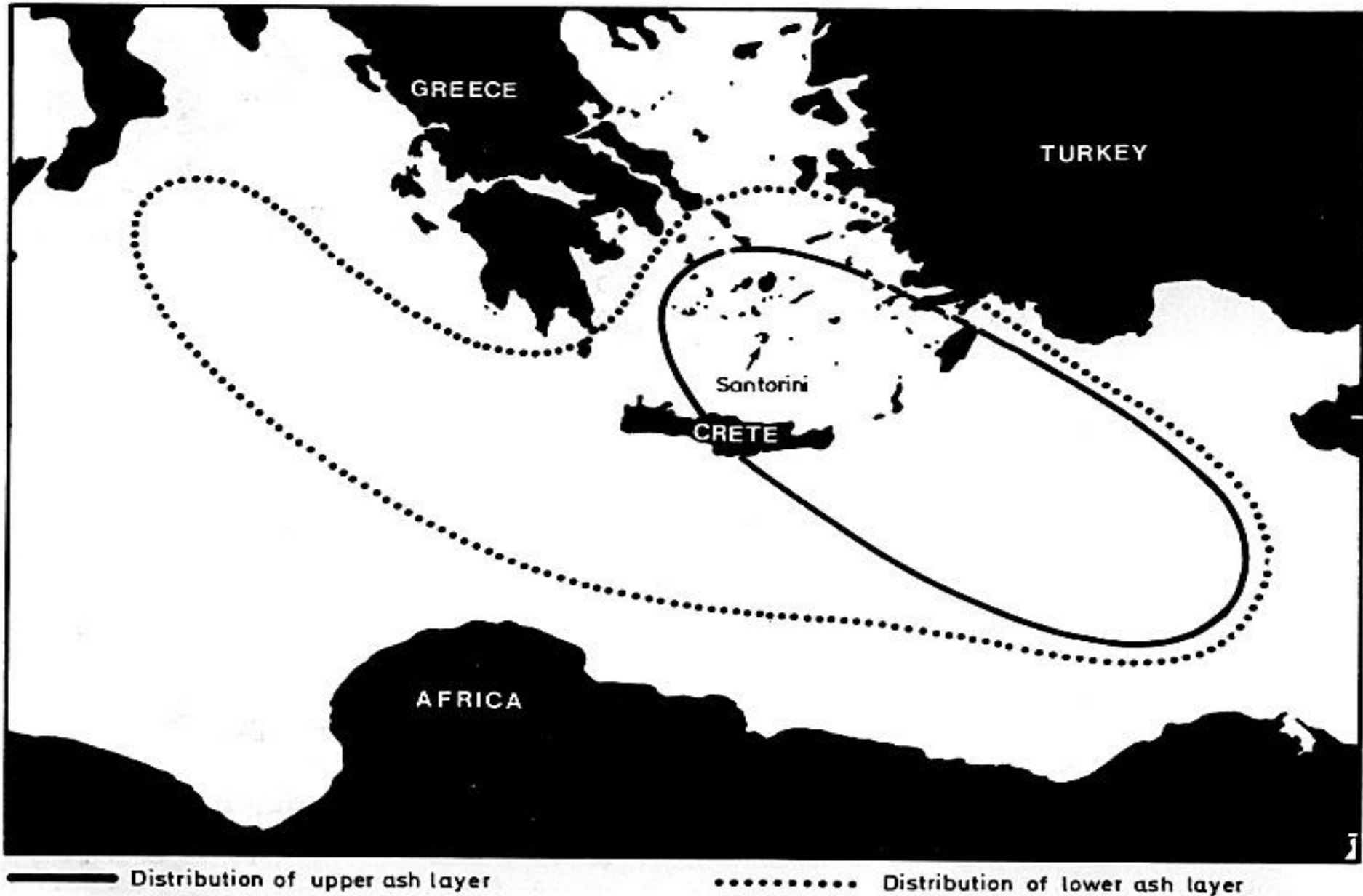
- Vulkani su uglavnom smješteni na oceanskim hrptovima i aktivnim oceanskim rubovima.
- Sastav dubokomorskih sedimenata (glina) upućuje da je prije glacijacija i stvaranja ulančanih gorja (prije 10 Ma) posebno u Pacifiku osnovno bilo taloženje vulkanskog pepela i njegova razgradnja.



Tefrakronologija

- Pojedine vulkanske erupcije, budući su vrlo kratkotrajne, a materijal se rasprostire na većem području važne su i za datiranje sedimenata i izračunavanje brzina sedimentacije (regionalna stratigrafija) (*Tephrochronology*). Primjer Thira (Thera, Santorini) prije 3600 godina ili oko 1600 pne. u Egejskom moru, ili erupcija Vezuva 79 n.e. “Plinijeva”, Vulture-Ofanto i slično i u Jadranu.
- Vulkanizam je izvor plinova i hidrotermalnih otopina koje su mogle dovesti do promjene sastava morske vode i atmosfere. Područje intenzivnog istraživanja.

Vulkanski pepeo u morskim sedimentima



Atlantida? (digresija)

- Istraživanje erupcije na Theri pokazuju da je to bila jedna od jačih u povijesti (90 puta veća no Mt. St. Helens, 1980).
- Prva manja erupcija dovela je vjerojatno do toga da je većina ljudi pobjegla (otkopavanja nisu otkrila skelete).
- Druga je erupcija započela erupcijom i taloženjem tufa (plovučca) koji je prekrrio grad Akrotiri ispod samog vulkana. Nakon toga je more ušlo u grotlo vulkana (otoka) koji je kolabirao i stvorio eksplozivnu smjesu magme i plinova. Dodatak velike količine stvorene pare napravio je već i tako snažnu erupciju ekstra eksplozivnom (“najgora vrsta erupcije koju možemo imati na ovom planetu”).



Atlantida? (digresija)

- Vulkanski pepeo i prah zasuli su i Kretu koja je 110 km južno od There. Tsunami je pogodio sjevernu obalu Krete, vjerojatno potapajući mnoge brodove što je bilo katastrofalno za Minojsku pomorsku civilizaciju. Pepeo je uništio usjeve i travu kojom se hranila stoka.
- Međutim, već je stoljeće ranije snažan potres razorio palaču Knossos, središte Minojske civilizacije, koja je potom bila obnovljena, ali ju je opet jači potres znatno oštetio nekako istovremeno kad je bila i erupcija There. U slijedećim desetljećima sve su veće palače na Kreti požarima uništene, vjerojatno pri sukobima s nastupajućim Mikenskim Grcima koji su konačno zavladaali Kretom.
- Smatra se da je ovaj povijesni geološki događaj osnova za Platonovu priču o izgubljenom kontinentu Atlantidi (~ 600 g pne).

Kemijski sastav morske vode

- To je 3,5 - 4 % otopina raznih soli, od čega na NaCl otpada 86%.
- Uz Na^+ i Cl^- znatnije su zastupljeni Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , (čine jake lužine), te SO_4^{--} i HCO_3^- , a budući da bikarbonat čini slabu kiselinu pH mora je lagano bazičan, oko 8.
- Razlikujemo makrokonstituente (elemente čija je koncentracija u vodi veća od 1 mg l^{-1} , čine 99.9% otopljenih tvari) i mikrokonstituente. Relativni sastav makrokonstituenata u moru i boćatoj vodi je stalan.

Average abundances of chemical elements in seawater.

Element		Concentration (mg l ⁻¹) (i.e. parts per million, p.p.m.)	Some probable dissolved species	Total amount in the oceans (tonnes)
chlorine	Cl	1.95×10^4	Cl ⁻	2.57×10^{16}
sodium	Na	1.077×10^4	Na ⁺	1.42×10^{16}
magnesium	Mg	1.290×10^3	Mg ²⁺	1.71×10^{15}
sulphur	S	9.05×10^2	SO ₄ ²⁻ , NaSO ₄ ⁻	1.2×10^{15}
calcium	Ca	4.12×10^2	Ca ²⁺	5.45×10^{14}
potassium	K	3.80×10^2	K ⁺	5.02×10^{14}
bromine	Br	67	Br ⁻	8.86×10^{13}
carbon	C	28	HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻ , CO ₂	3.7×10^{13}
nitrogen	N	11.5	N ₂ gas, NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1.5×10^{13}
strontium	Sr	8	Sr ²⁺	1.06×10^{13}
oxygen	O	6	O ₂ gas	7.93×10^{12}
boron	B	4.4	B(OH) ₃ , B(OH) ₄ ⁻ , H ₂ BO ₃ ⁻	5.82×10^{12}
silicon	Si	2	Si(OH) ₄	2.64×10^{12}
fluorine	F	1.3	F ⁻ , MgF ⁺	1.72×10^{12}
argon	Ar	0.43	Ar gas	5.68×10^{11}
lithium	Li	0.18	Li ⁺	2.38×10^{11}
rubidium	Rb	0.12	Rb ⁺	1.59×10^{11}
phosphorus	P	6×10^{-2}	HPO ₄ ⁻² , PO ₄ ³⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	7.93×10^{10}
iodine	I	6×10^{-2}	IO ₃ ⁻ , I ⁻	7.93×10^{10}
barium	Ba	2×10^{-2}	Ba ²⁺	2.64×10^{10}
molybdenum	Mo	1×10^{-2}	MoO ₄ ²⁻	1.32×10^{10}
arsenic	As	3.7×10^{-3}	HAsO ₄ ²⁻ , H ₂ AsO ₄ ⁻	4.89×10^9
uranium	U	3.2×10^{-3}	UO ₂ (CO ₃) ₂ ⁴⁻	4.23×10^9
vanadium	V	2.5×10^{-3}	H ₂ VO ₄ ⁻ , HVO ₄ ²⁻	3.31×10^9
titanium	Ti	1×10^{-3}	Ti(OH) ₄	1.32×10^9

Average abundances of chemical elements in seawater.

Element		Concentration (mg l ⁻¹) (i.e. parts per million, p.p.m.)	Some probable dissolved species	Total amount in the oceans (tonnes)
zinc	Zn	5×10^{-4}	ZnOH ⁺ , Zn ²⁺ , ZnCO ₃	6.61×10^8
nickel	Ni	4.8×10^{-4}	Ni ²⁺ , NiCO ₃ , NiCl ⁺	6.35×10^8
aluminium	Al	4×10^{-4}	Al(OH) ₄ ⁻	5.29×10^8
caesium	Cs	4×10^{-4}	Cs ⁺	5.29×10^8
chromium	Cr	3×10^{-4}	Cr(OH) ₃ , CrO ₄ ²⁻	3.97×10^8
antimony	Sb	2.4×10^{-4}	Sb(OH) ₆ ⁻	3.17×10^8
krypton	Kr	2×10^{-4}	Kr gas	2.64×10^8
selenium	Se	2×10^{-4}	SeO ₃ ²⁻ , SeO ₄ ²⁻	2.64×10^8
neon	Ne	1.2×10^{-4}	Ne gas	1.59×10^8
manganese	Mn	1×10^{-4}	Mn ²⁺ , MnCl ⁺	1.32×10^8
cadmium	Cd	1×10^{-4}	CdCl ₂	1.32×10^8
copper	Cu	1×10^{-4}	CuCO ₃ , CuOH ⁺ , Cu ²⁺	1.32×10^8
tungsten	W	1×10^{-4}	WO ₄ ²⁻	1.32×10^8
iron	Fe	5.5×10^{-5}	Fe(OH) ₂ ⁺ , Fe(OH) ₄ ⁻	7.27×10^7
xenon	Xe	5×10^{-5}	Xe gas	6.61×10^7
zirconium	Zr	3×10^{-5}	Zr(OH) ₄	3.97×10^7
bismuth	Bi	2×10^{-5}	BiO ⁺ , Bi(OH) ₂ ⁺	2.64×10^7
niobium	Nb	1×10^{-5}	Nb(OH) ₆ ⁻	1.32×10^7
thallium	Tl	1×10^{-5}	Tl ⁺	1.32×10^7
thorium	Th	1×10^{-5}	Th(OH) ₄	1.32×10^7
hafnium	Hf	7×10^{-6}	Hf(OH) ₃	9.25×10^6
helium	He	6.8×10^{-6}	He gas	8.99×10^6
beryllium	Be	5.6×10^{-6}	BeOH ⁺	7.40×10^6
germanium	Ge	5×10^{-6}	Ge(OH) ₄ , H ₃ GeO ₄ ⁻	6.61×10^6
gold	Au	4×10^{-6}	AuCl ₂ ⁻	5.29×10^6
rhenium	Re	4×10^{-6}	ReO ₄ ⁻	5.29×10^6
cobalt	Co	3×10^{-6}	Co ²⁺	3.97×10^6

Average abundances of chemical elements in seawater.

Element		Concentration (mg l ⁻¹) (i.e. parts per million, p.p.m.)	Some probable dissolved species	Total amount in the oceans (tonnes)
lanthanum	La	3×10^{-6}	La(OH) ₃	3.97×10^6
neodymium	Nd	3×10^{-6}	Nd(OH) ₃	3.97×10^6
lead	Pb	2×10^{-6}	PbCO ₃ , Pb(CO ₃) ₂ ²⁻	2.64×10^6
silver	Ag	2×10^{-6}	AgCl ₂ ⁻	2.64×10^6
tantalum	Ta	2×10^{-6}	Ta(OH) ₅	2.64×10^6
gallium	Ga	2×10^{-6}	Ga(OH) ₄ ⁻	2.64×10^6
yttrium	Y	1.3×10^{-6}	Y(OH) ₃	1.73×10^6
mercury	Hg	1×10^{-6}	HgCl ₂ ²⁻ , HgCl ₂	1.32×10^7
cerium	Ce	1×10^{-6}	Ce(OH) ₃	1.32×10^6
dysprosium	Dy	9×10^{-7}	Dy(OH) ₃	1.19×10^6
erbium	Er	8×10^{-7}	Er(OH) ₃	1.06×10^6
ytterbium	Yb	8×10^{-7}	Yb(OH) ₃	1.06×10^6
gadolinium	Gd	7×10^{-7}	Gd(OH) ₃	9.25×10^5
praseodymium	Pr	6×10^{-7}	Pr(OH) ₃	7.93×10^5
scandium	Sc	6×10^{-7}	Sc(OH) ₃	7.93×10^5
tin	Sn	6×10^{-7}	SnO(OH) ₃ ⁻	7.93×10^5
holmium	Ho	2×10^{-7}	Ho(OH) ₃	2.64×10^5
lutetium	Lu	2×10^{-7}	Lu(OH) ₃	2.64×10^5
thulium	Tm	2×10^{-7}	Tm(OH) ₃	2.64×10^5
indium	In	1×10^{-7}	In(OH) ₂ ⁺	1.32×10^5
terbium	Tb	1×10^{-7}	Tb(OH) ₃	1.32×10^5
palladium	Pd	5×10^{-8}	Pd ²⁺ , PdCl ⁺	6.61×10^4
samarium	Sm	5×10^{-8}	Sm(OH) ₃	6.61×10^4
tellurium	Te	1×10^{-8}	Te(OH) ₆	1.32×10^4
europium	Eu	1×10^{-8}	Eu(OH) ₃	1.32×10^4
radium	Ra	7×10^{-11}	Ra ²⁺	92.5
protactinium	Pa	5×10^{-11}	not known	66.1
radon	Rn	6×10^{-16}	Rn gas	7.93×10^{-4}

Sastav morske vode

- Može se protumačiti otapanjem kiselih vulkanskih plinova u vodi (HCl, SO₂, CO₂) i njihovom interakcijom s alumosilikatima opće formule:



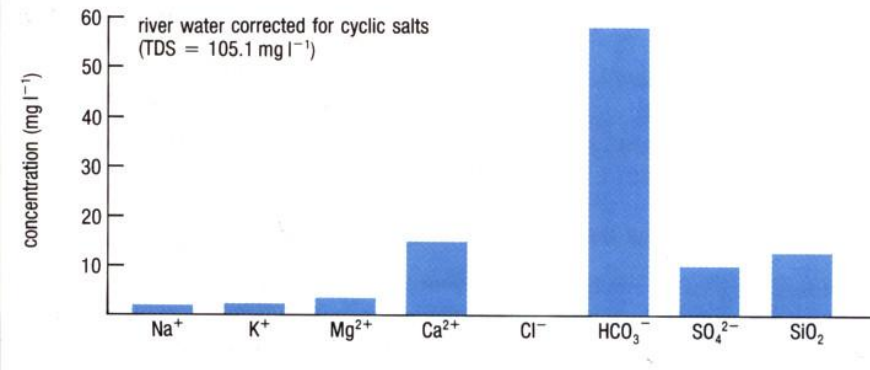
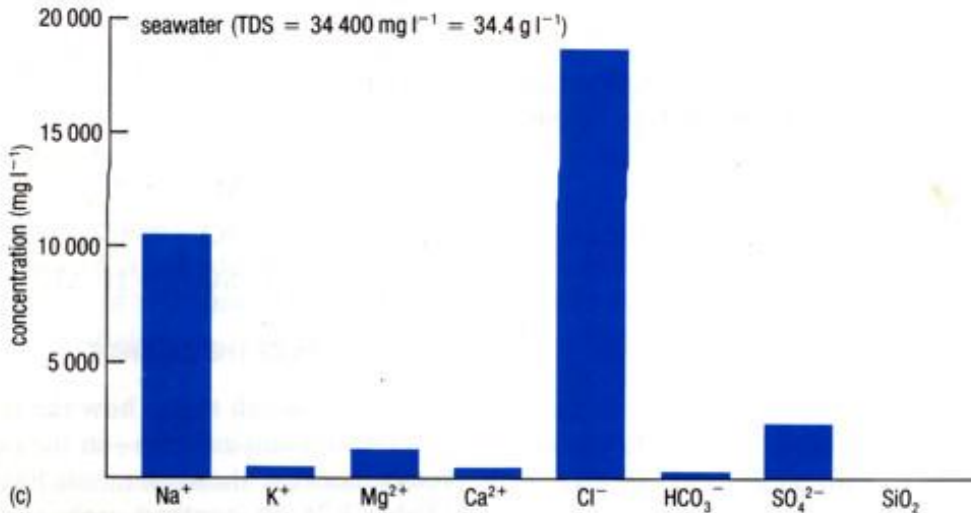
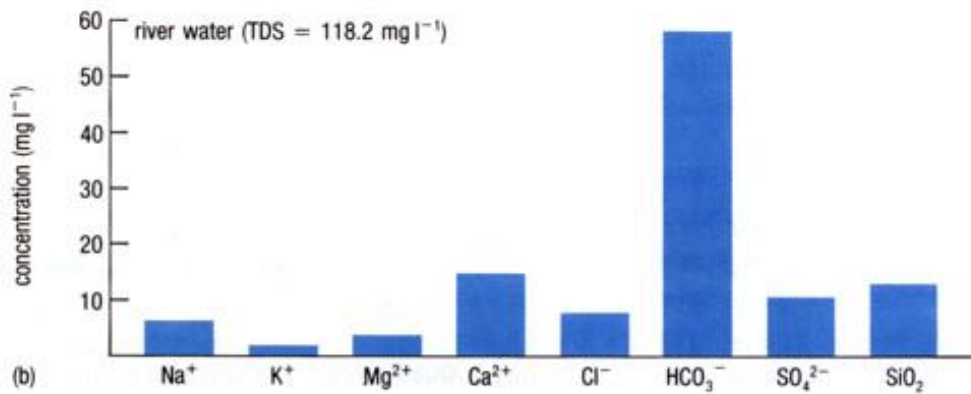
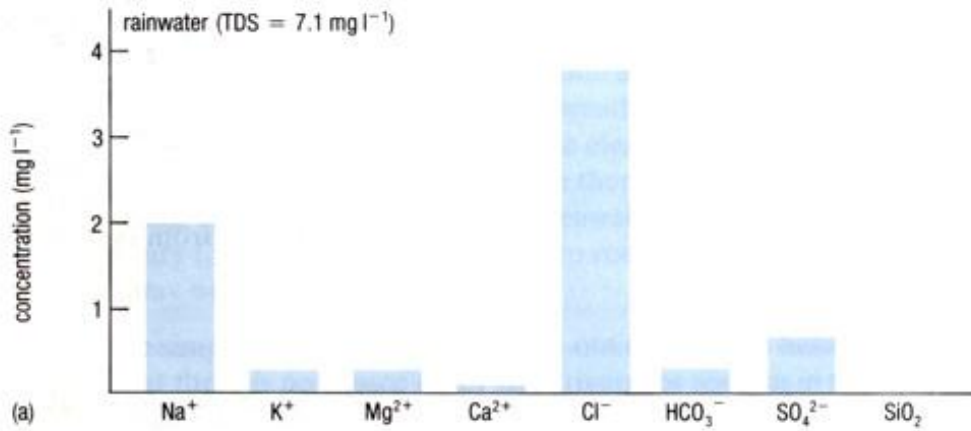
Me= Na, K, Mg, Ca

- Ti se metali otapaju a preostaju netopljivi Si-Al oksidi (i hidroksidi) što su zapravo minerali glina!

Stabilnost sastava morske vode

- Koliko je bio stabilan sastav morske vode kroz geološku prošlost? Ako je navedena kiselo-bazična titracija morske vode i sedimenta u redu, a otopina je u ravnoteži, sastav morske vode bi trebao biti dosta stabilan.
- Uklopci morske vode u starim evaporitima ukazuju da je sastav morske vode bio stabilan barem posljednjih 600 Ma (vjerojatno se promijenio za manje od dva puta za makrokonstituente).
- Paleontološki dokazi pokazuju da **stenohalini** organizmi (osjetljivi na promjenu saliniteta) imaju paleozojske srodnike (radiolarije, koralji, brahiopodi, cefalopodi, ježinci).

Razlike u sastavu riječne i morske vode



Razlike u sastavu riječne i morske vode

- Riječna je voda u osnovi otopina kalcijeva bikarbonata i ortosilicijeve kiseline - H_4SiO_4 (pogotovo ukoliko se oduzmu cikličke soli), pa je sastav riječne vode irelevantan za nakupljanje soli u moru. Bitna je topljivost pojedinih tvari. No značajno je djelovanje organizama (tj. životnih procesa) za postizanje sastava morske vode.
- Za pretpostavljeno ravnotežno stanje otopljenih tvari ulaz mora biti jednak izlazu. Što je u ovom slučaju izlaz? - Ugradnja u čvrstu fazu (u vapnenačke i opalne ljuštore, te u autigene minerale koji se stvaraju u moru i talože na morsko dno).

Vrijeme zadržavanja

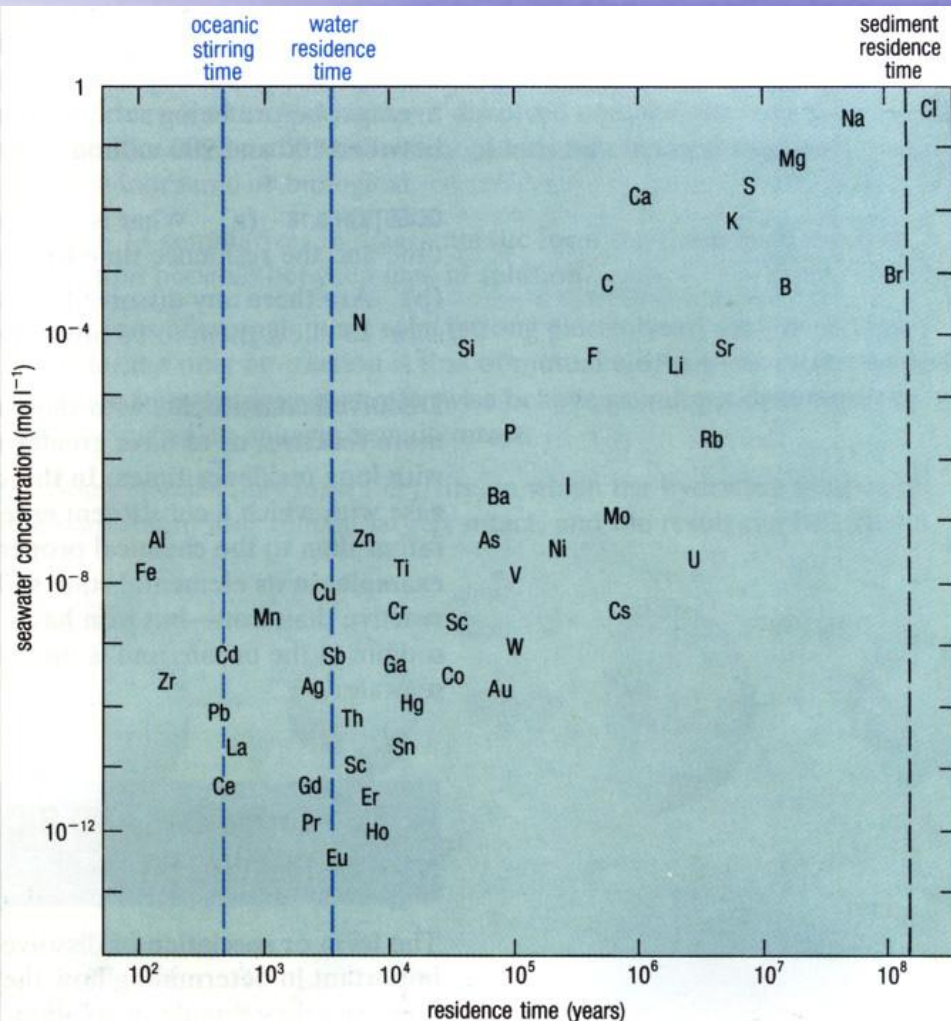
- Time dolazimo do koncepta **vremena zadržavanja** (*residence time*)

$$\tau = A/r$$

τ (tau) = vrijeme zadržavanja (godine); A = ukupna količina neke tvari (tone); r = ulaz ili izlaz (tone/godine).

- Važnijim konstituentima je vrijeme zadržavanja dulje što je njihova koncentracija u moru viša. Npr. Na ~ 210 Ma, Cl >200 Ma, Mg~22 Ma, K~10 Ma, dok je znantno kraće onim elementima koji sudjeluju u životnim ciklusima organizama (Ca~1,4 Ma, Si~20.000 godina).

Vrijeme zadržavanja



River fluxes and residence times of some dissolved constituents in seawater.

Constituent	River flux* ($\times 10^8 \text{ tyr}^{-1}$)	Mass in ocean** ($\times 10^{14} \text{ t}$)	Residence time ($\times 10^6 \text{ yr}$)	
			(uncorrected)*	(corrected)
Na ⁺	2.05	144	70.2	210
K ⁺	0.75	5	6.7	10
Ca ²⁺	4.88	6	1.23	1.4
Mg ²⁺	1.33	19	14.3	22
Cl ⁻	2.54	261	103	(∞)
HCO ₃ ⁻	18.95	1.9	0.1	0.1
SO ₄ ²⁻	3.64	37	10.2	11
SiO ₂	4.26	0.08		0.02
Fe	0.22	0.000014		0.00006
Mn	0.001	0.00002		0.02
Cu	0.0007	0.000021		0.03
Co	0.001	0.000001		0.01
Zn	0.0007	0.000042		0.06

*These values are not corrected for cyclic salts.

** Amounts differ somewhat from those in Table 6.1 (see accompanying text to that Table).

Reversno trošenje

- Kako se pojedini otopljeni elementi uklanjaju iz otopine?
- Fizikalno-kemijski procesom **reversnog trošenja** (*reverse weathering*). Suprotno procesima trošenja na kopnu kada se elementi izvlače iz alumosilikata, u moru se ugrađuju u alumosilikate ali i evaporite.
- Uz to, pogotovo su važni **biološki procesi** precipitacije i ugradnje elemenata u materijal koji se potom taloži na morskome dnu. Biološki procesi značajno mogu utjecati na skraćivanje vremena zadržavanja pojedinih elemenata u moru.
- Jednadžba za određivanje vremena zadržavanja ranije je bila upotrijebljena za određivanje minimalne starosti oceana ("*salt age*") na temelju pretpostavke da je početni ocean bio bez soli, te je na temelju donosa rijekama određeno minimalno vrijeme potrebno da se postigne sadašnja koncentracija. Izračunato vrijeme bilo je oko 100 Ma, i bilo je vrlo korisno kao minimum geološkog vremena.

Tipovi sedimenata koji nastaju u moru

- U osnovi postoje tri osnovna tipa sedimenata:
- **Litogeni** = klastični, čestični, terigeni (alogeni ili alotigeni) - prevladavaju uz rubove oceana
- **Hidrogeni** = kemogeni - nastaju precipitacijom direktno iz otopine (autigeni)
- **Biogeni** = organogeni nastaju pomoću organizama, (autigeni) - prevladavaju u otvorenim morima.
- No u prirodi postoje i svi prijelazni oblici i kombinacije.

Litogeni sedimenti

- Čestice koje rijekama, vjetrom, ledom stižu u mora nastaju trošenjem stijena na kopnu (svih vrsta)
- **Mehaničkim drobljenjem** stijena ili su to čestice koje su kemijski promijenjene (izlužene).
- Čestice prvenstveno razlikujemo prema veličini zrna

Litogeni sedimenti

- Osnova podjele je prema veličini čestica:
 - > 2mm šljunak, kršje
 - 2 – 0,063 mm **pijesak**
 - 0,063 – 0,004 mm prah (silt)
 - <0,004 mm glina

Prah + glina = **mulj** (barem 1/3 svake)

Waltherovo pravilo

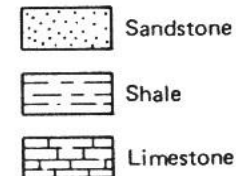
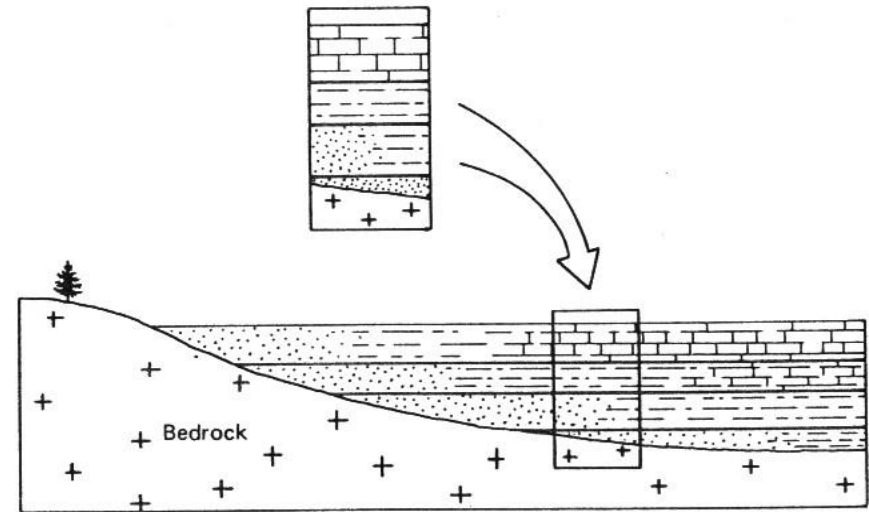
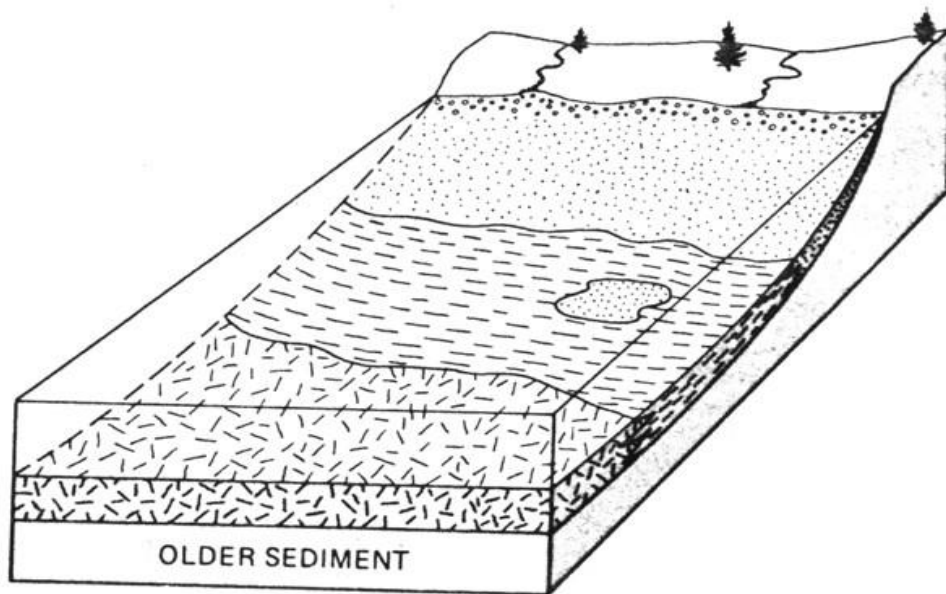


Fig. 18.3 Diagrammatic representation of Walther's law. The horizontal lines represent time lines.

- U načelu postoji gradacija veličina zrna od mjesta nastanka prema mjestu taloženja tako da teže i veće čestice ostaju bliže izvoru dok sitne čestice mogu biti daleko odnesene.

Litogeni sedimenti

- **Šljunak** i **kršje** ne mogu biti daleko nošeni (osim u slučaju ledenih bregova). Lako se može odrediti izvorišno područje na temelju stijenskih fragmenata.

U morima (osim u slučaju kamenitih obala, koraljnih grebena i područja gdje se otapaju ledeni bregovi) šljunak (i kršje) su dosta rijedak gost.



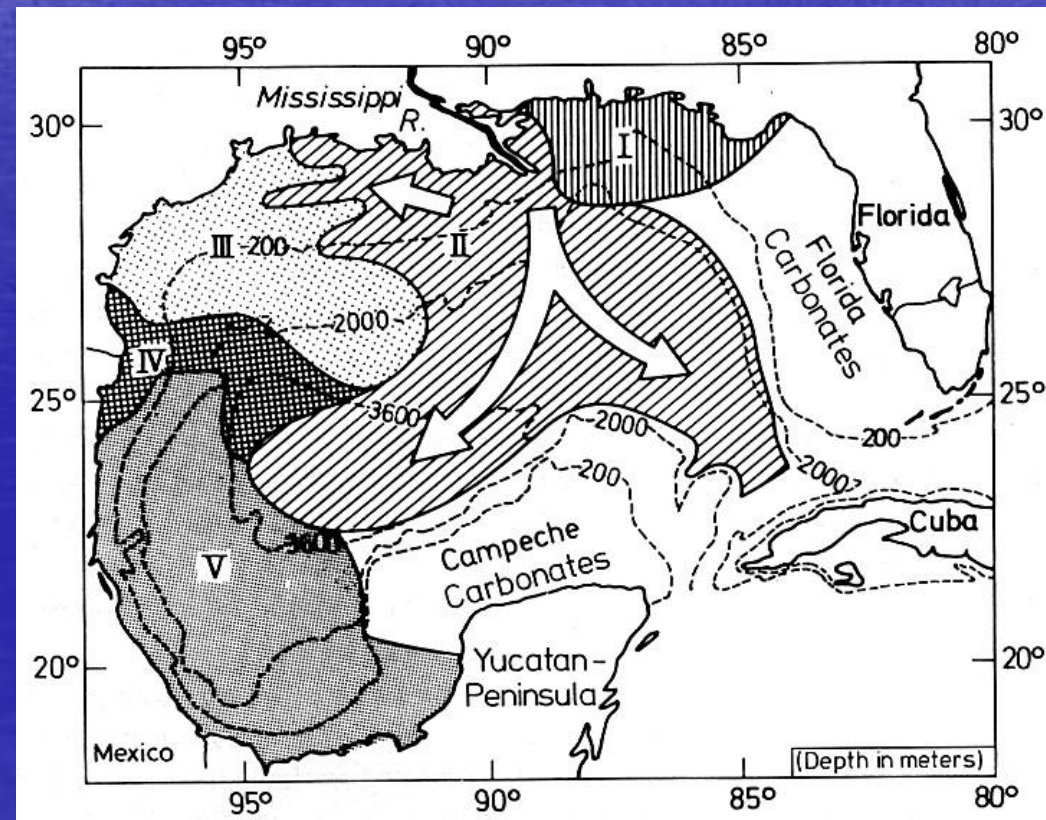
Litogeni sedimenti

- **Pijesak** je tipičan sediment plaža i šelfa i često se sastoji od čestica stijena i minerala koji su otporni na trošenje. Prerađeni, zreli pijesci stoga će se sastojati gotovo isključivo od kremenca. Na mnogim tropskim obalama imat ćemo bioklastične vapnenačke pijeske (to su čestice koje su mehanički trošene i ipak transportirane, dakle litogene).



Litogeni sedimenti

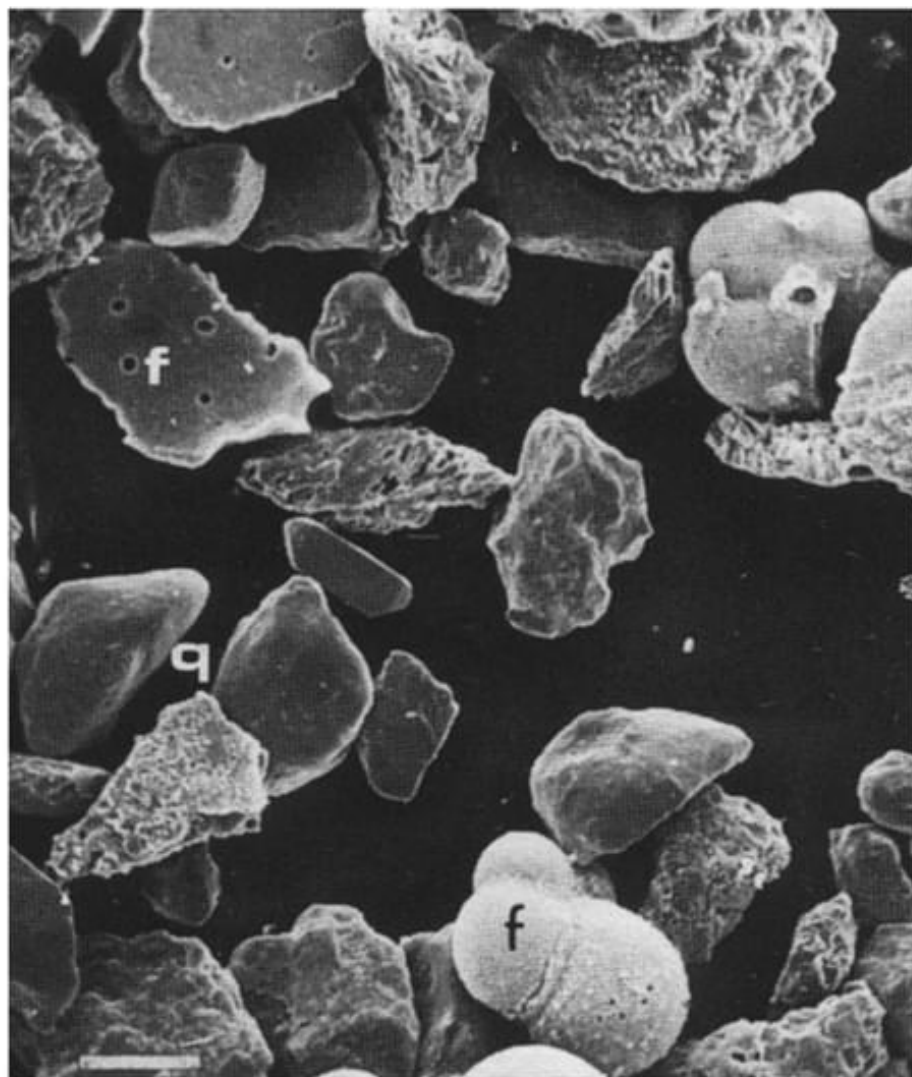
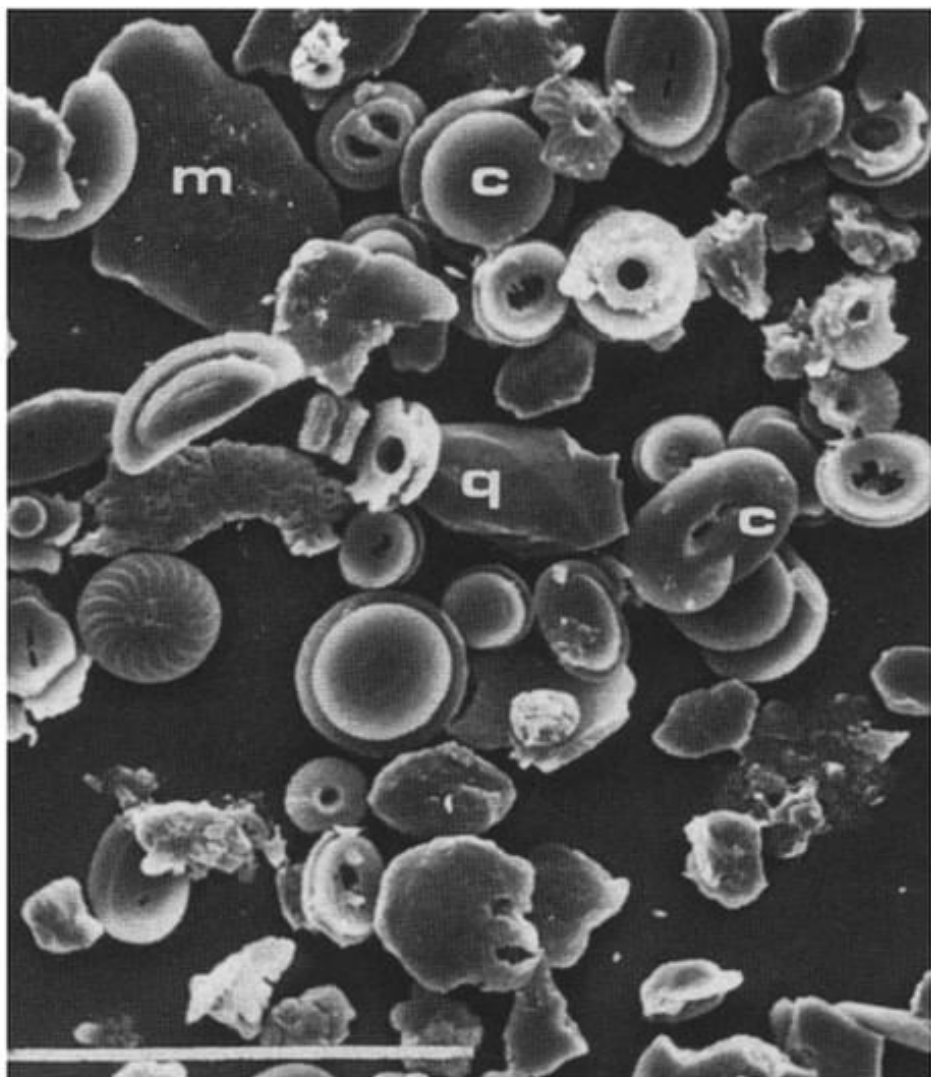
- Izvori materijala i način disperzije/prijenosa pijesaka određuje se pomoću **teških minerala** ($>2,8 \text{ g/cm}^3$), te se određuju mineralne provincije. Stupanj zaobljenosti može pomoći u određivanju prošlosti i procesa koji su djelovali na čestice.
- Dobra zaobljenost se postiže djelovanjem valova.



Litogeni sedimenti

- **Silt (prah)** je čest na kontinentskom slazu i podnožju (*slope, rise*) ali i svugdje gdje je mala energija okoliša. To je prijelazni oblik između pijesaka i glina, relativno se teško istražuje (mikroskop, rentgen, ali danas SEM). Tinjci su osobito česti u terigenim siltovima. Čest je zajednički sediment s česticama glina pa nastaje **mulj** (*mud*). Muljevi su uz pijeske najčešći sediment šelfova.

Čestice veličine praha



Litogeni sedimenti

- **Gline** su karakteristični za niskoenergetske okoliše u kojima imamo donošenje sitnozrnatih čestica, ali ne i odnošenje. Međutim, naći ćemo ih i u visokoenergetskim okolišima (npr. ispred ušća tropskih rijeka, zbog intenzivnog donosa i nedovoljnog odnošenja).
- Minerali glina (smektiti - montmorilonit, ilit, klorit, kaolinit) česti su u glinama. Takvi sedimenti imaju veliku specifičnu površinu (SSA), pa je i jaka adsorpcija i interakcija s vodenim sustavom, te mogu nastajati novi minerali. Vrlo su važne interakcije između glina i organske tvari (fekalni peleti, nafta).

Biogeni sedimenti

- **Biogeni sedimenti** sastoje se od skeletnih ostataka organizama (pretežno anorganski materijal) i/ili od organske tvari. Samo ovi drugi sedimenti su organski sedimenti.
- Najveći dio kalcijevog karbonata koji se taloži u moru je biogenog porijekla. Na šelfu prevladavaju ostaci (skeleti i ljušture) bentičkih organizama, dok u dubljemorskim predjelima raste udjel ostataka planktonskih organizama (kućice foraminifera).

Biogeni sedimenti

- Opalni skeleti (biogeni opal - $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) su također značajan konstituent biogenih sedimenata. To su prvenstveno spikule spužava na šelfu, dok u dubljim dijelovima nalazimo i ostatke dijatomeja, radiolarija, silikoflagelata.
- Organizmi izlučuju i fosfatne ostatke (apatit, fosforit) a njihovo nakupljanje i sedimentacija važni su za ciklus fosfora u biosferi ali imaju i šire geokemijsko značenje.

Biogeni sedimenti

Inorganic constituents and carbonate minerals in hard parts of marine organisms

Bacteria	Aragonite (CaCO ₃), iron oxide, manganese hydroxide
Diatoms	Opal (SiO ₂ · nH ₂ O)
Coccolithophores	Calcite (CaCO ₃)
Chlorophyta	Aragonite
Rhodophyta	Aragonite, Mg-calcite
Phaeophyta	Aragonite
Foraminifera	Calcite, Mg-calcite, aragonite (rare)
Radiolarians	Opal, celestite (SrSO ₄)
Sponges	Mg-calcite, aragonite, opal; rare: iron oxides, celestite (rare)
Corals	Aragonite, Mg-calcite
Bryozoans	Aragonite, Mg-calcite + aragonite
Brachiopods	Calcium-carbonate-phosphate, calcite
Echinoderms	Mg-calcite; rare: amorphous phosphates, Fluorite, opal
Mollusks:	
Gastropods	Aragonite, aragonite + calcite
Pelecypods	Aragonite, aragonite + calcite, calcite
Cephalopods	Aragonite
	(Various phosphate minerals and iron-oxides also have been detected in certain mollusks)
Annelid worms	Aragonite, arag. + Mg-calcite, Mg-calcite rare: phosphates, opal, iron oxides
Arthropods	
Decapods	Mg-calcite, amorphous Ca-phosphate
Ostracods	Calcite, aragonite (rare)
Barnacles	Calcite, aragonite (rare)
Vertebrates	Ca-phosphates

Biogeni sedimenti

- Bentički organizmi stvaraju velike mase karbonatnih stijena (sedimenata) na šelfu, prvenstveno u tropskom pojasu (*Great Barrier Reef!!*) koralji, alge, školjkaši, foraminifere.
- U geološkoj prošlosti područja u kojima su se nakupljali biogeni bentički karbonati bila su u npr. u tercijaru prostor današnjih Alpa i Himalaja (ondašnji Tetis) ali i u mezoziku (također i Arabija pa sve do Meksika i Kariba). To su često grebenski vapnenci koji mogu biti primarno vrlo kavernozni te time i dobre kolektorske stijene!

Biogeni sedimenti

- Planktonski organizmi čine gradbeni materijal sedimenata češće na slazu i u dubokome moru.
- Tipični sediment koji se pretežno sastoji od ostataka kokolitoforida je bijela engleska kreda (chalk, K_2).
- Na temelju omjera planktonskih i bentičkih foraminifera može procjenjivati otvorenost mora pr 10:1 5:5; 3:7, 1:10 (od otvorenog prema šelfu).
- U vrlo dubokom moru ne talože se karbonati zbog kalcitne kompenzacijske dubine (CCD). No ostaci različitih organizama otapat će se na različitim dubinama (pteropodi s aragonitnim ljušturama, otapat će se relativno plitko, foraminiferski ostaci dublje, a kokoliti najdublje).

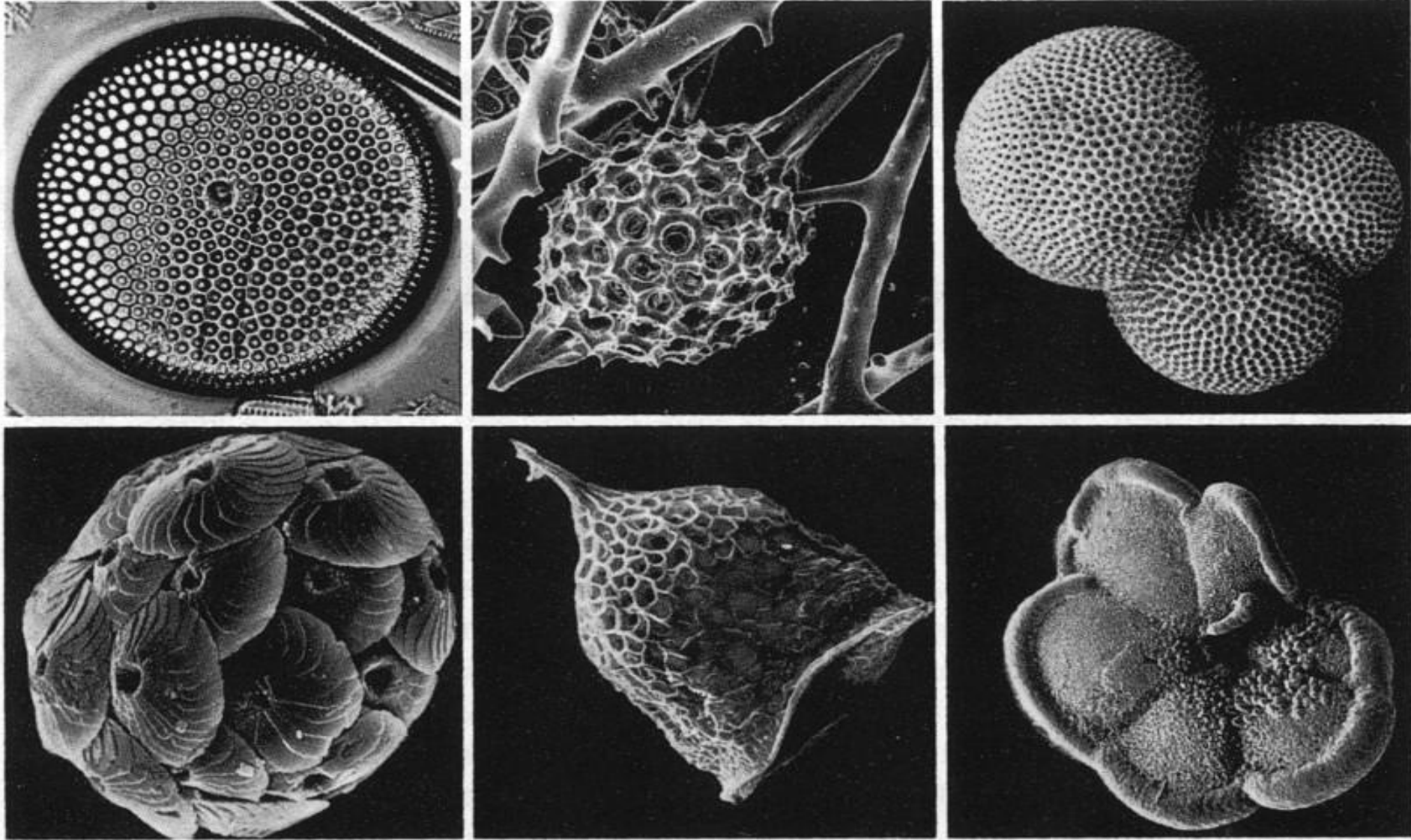


Fig. 8.3. Shell-bearing planktonic organisms. *Clockwise from upper left* Siliceous diatom (x 600), centric warm-water form; siliceous radiolarian (x 180); calcareous warm-water foraminifer *Globigerinoides sacculifer* (x 55); tropical subsurface foraminifer *Globorotalia menardii* (x 28); organic-walled tintinnid (x 480); calcareous coccolithophore (x 2100) with interlocking platelets (“coccoliths”). [Diatom microphoto by H.-J. Schrader; all others: SEM photos by C. Samtleben and U. Pflaumann]

Biogeni sedimenti

- Čertove (rožnjake) nalazimo često umetnute o vapnenačke slojeve ili pak u obliku nodula u vapnencima.
- Nekada se smatralo da su vezani isključivo za dubokomorske prostore, ali se danas zna da mogu biti i u plitkovodnim šelfnim vapnencima.

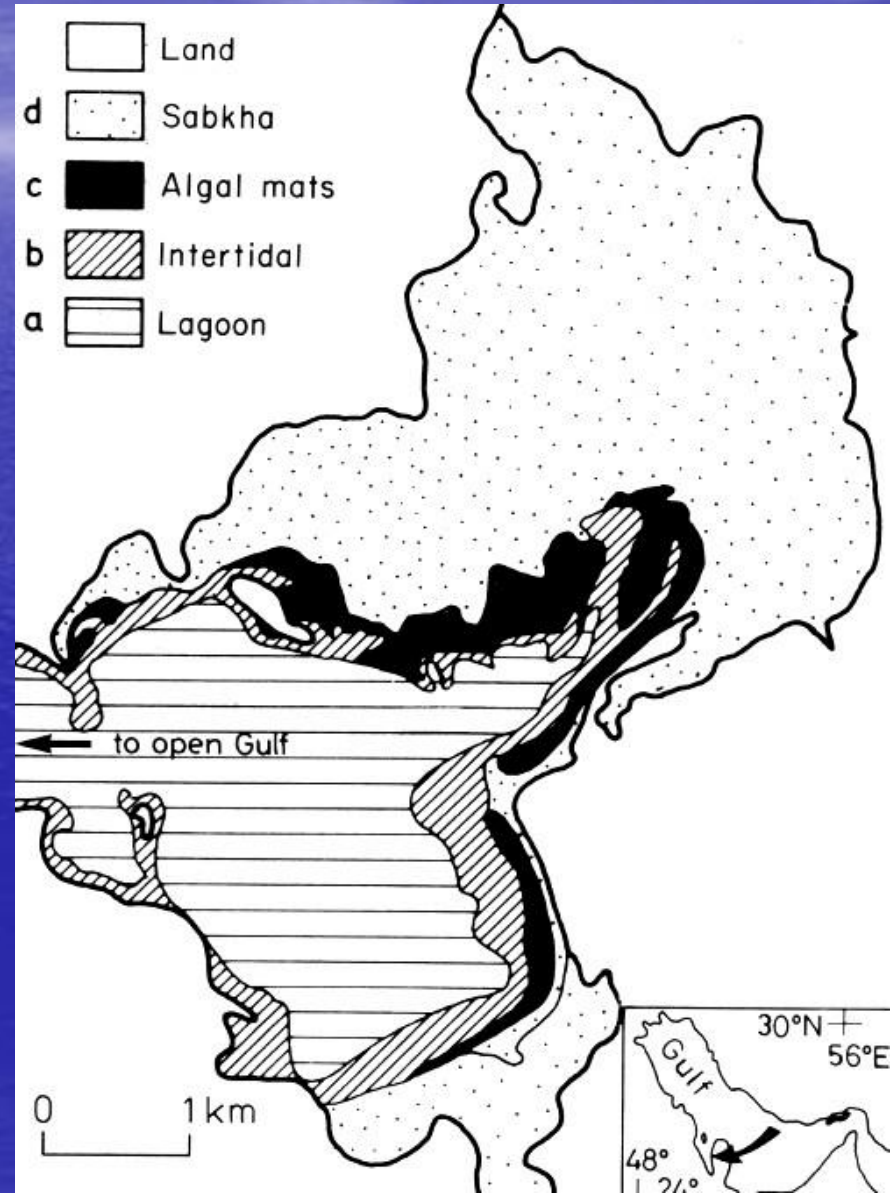


Biogeni sedimenti

- Čertovi nastaju od opalnih ostataka dijatomeja i spužvi. Danas se ti skeletni ostaci brzo otapaju pogotovo u plićoj vodi i tropima, jer je morska voda nezasićena u odnosu na SiO_2 .
- Može se pretpostaviti da je u geološkoj prošlosti koncentracija otopljenog Si u moru bila viša, tj. da su oceani bili manje fertilni ili/i je vulkanizam koji je izvor otopljenog Si bio jači.

Biogeni sedimenti

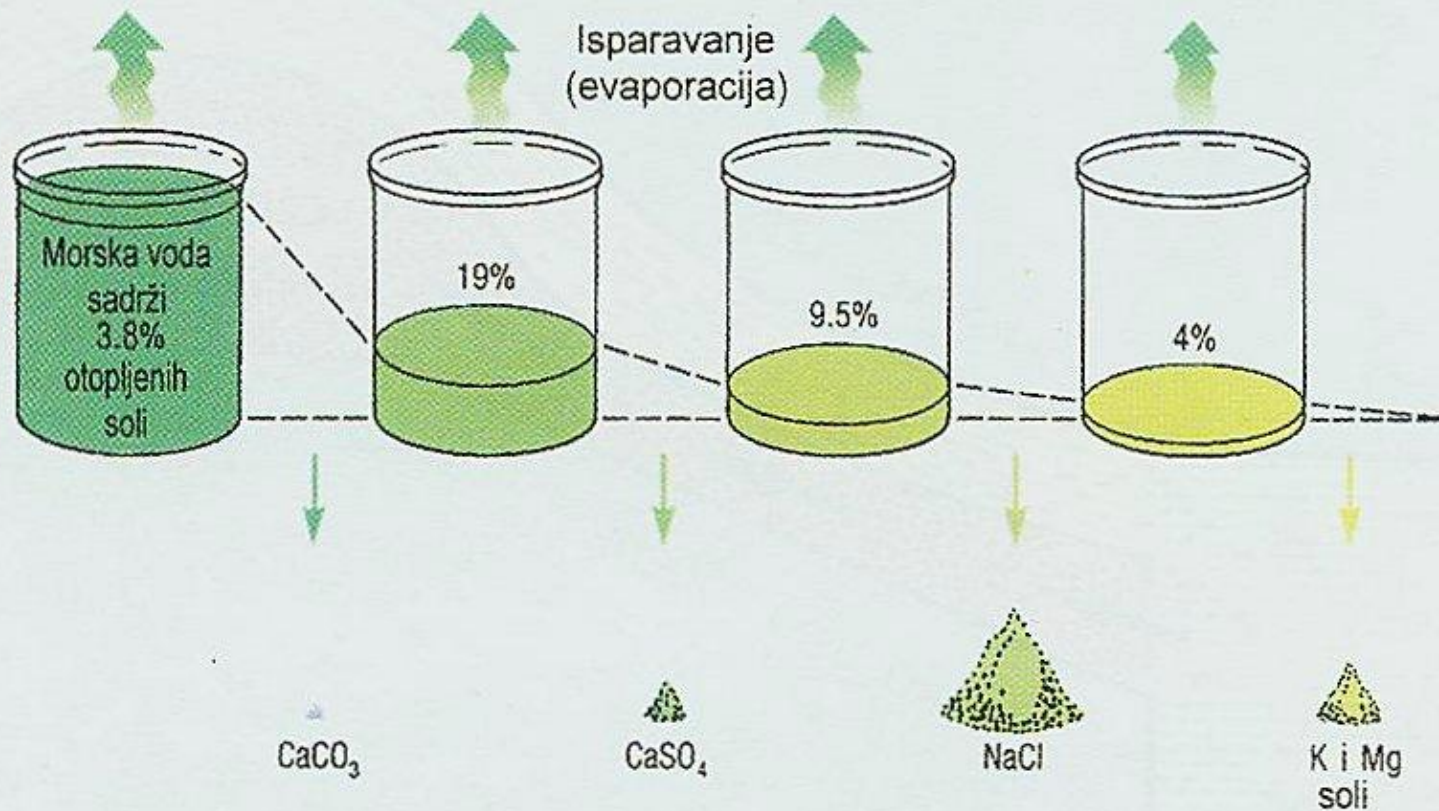
- O nastanku **dolomita** tiskane su mnoge knjige. Razlikujemo ranodijagenetski i kasnodijagenetski dolomit
- Dolomit, najčešće nije primarni biogeni sediment, te nastaje zamjenom Ca^{2+} s Mg^{2+} ionima u vapnenačkim sedimentima.



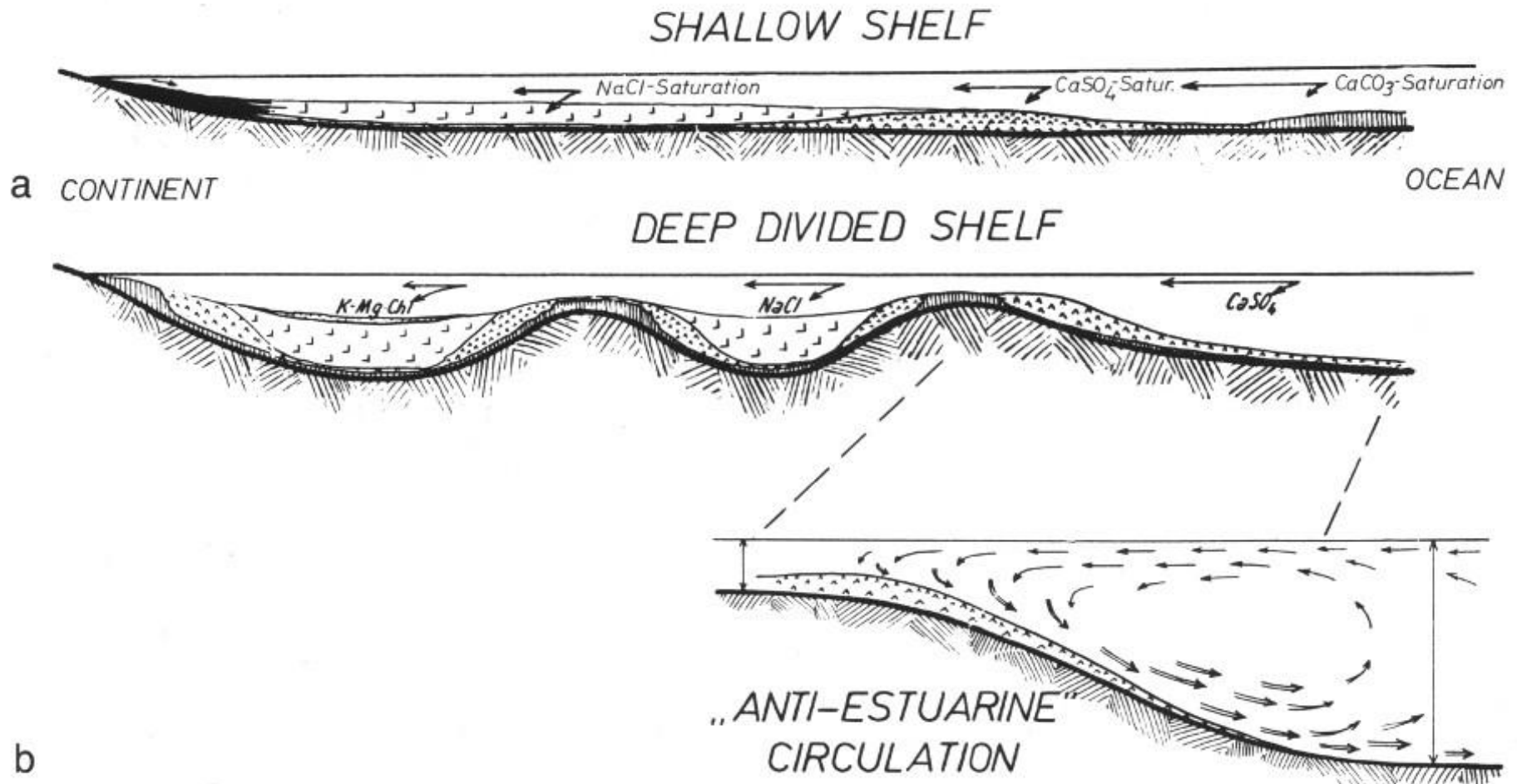
Hidrogeni sedimenti

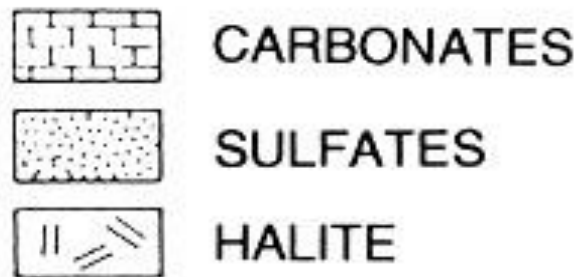
- **Marinski evaporiti** nastaju taloženjem prvenstveno u poluzatvorenim bazenima kao što su obalne lagune, plitki šelfovi, grabeni (rift ocean), ali u velikim su se količinama taložili u Mediteranu tijekom mesinija (gornji miocen, prije 6-5 milijuna godina).
- Koliko m soli će se istaložiti ako ispari stupac mora debeo 1000 m?
- Zaostat će 14 m soli ($S=35$ (3,5%) i $\rho= 2,5$). Najveći dio istaloženog materijala činit će halit.

Redosljed taloženja evaporita

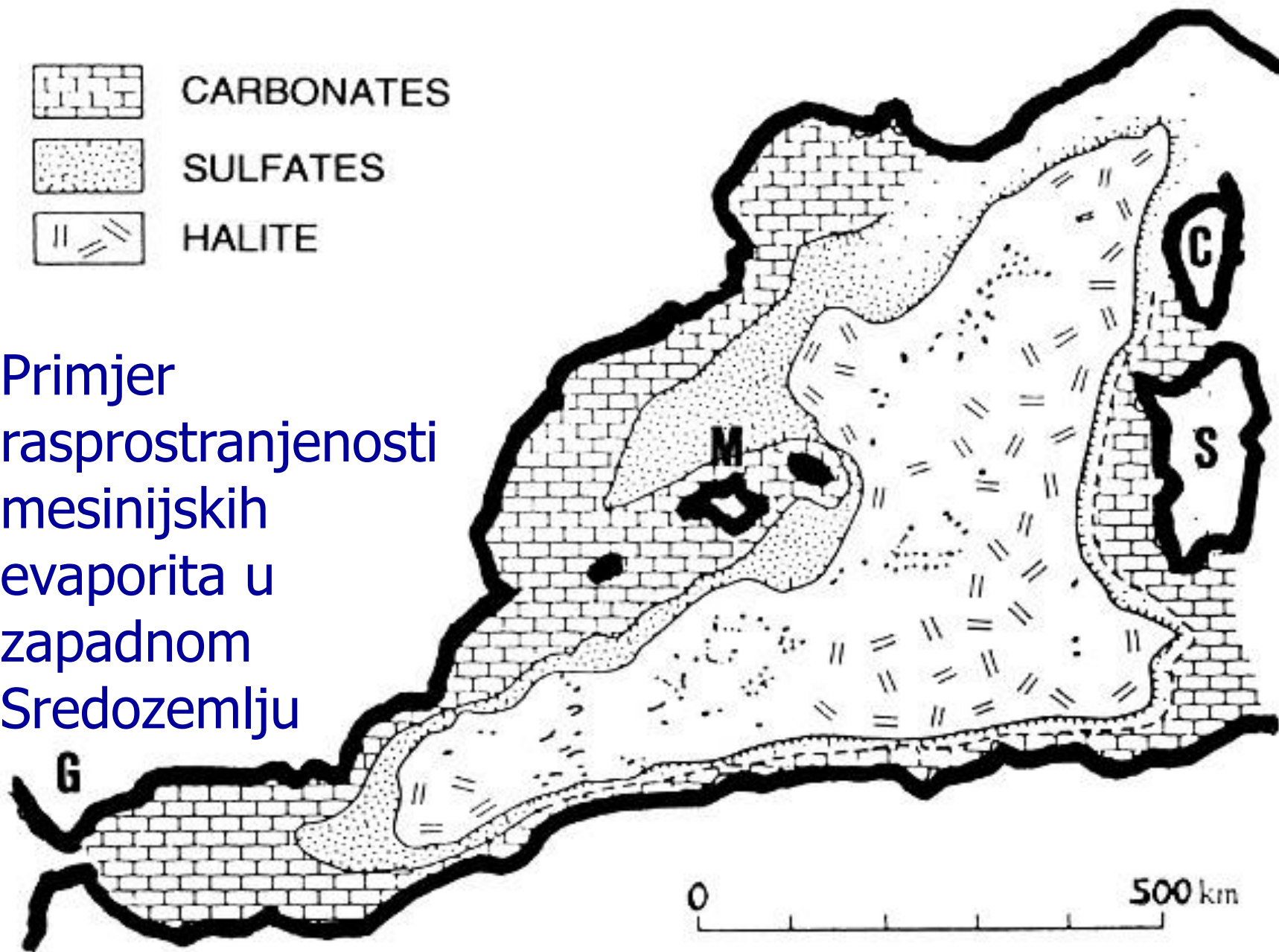


- No neki se evaporiti sastoje samo od karbonata i gipsa, neki samo od debelih slojeva halita, a rijetko se nalaze i ovi posljednji vrlo topivi spojevi (K, Mg soli).
Procesi diferencijalnog očuvanja i frakcionacije.





Primjer
rasprostranjenosti
mesinijskih
evaporita u
zapadnom
Sredozemlju



Bijeljenje – proces stvaranja mliječno-bijelog zamućenja u nekim prirodnim vodama koje uzrokuju suspendirane čestice karbonata.



Precipitacija aragonita u jezeru La Cruz, (Cuenca, Španjolska).

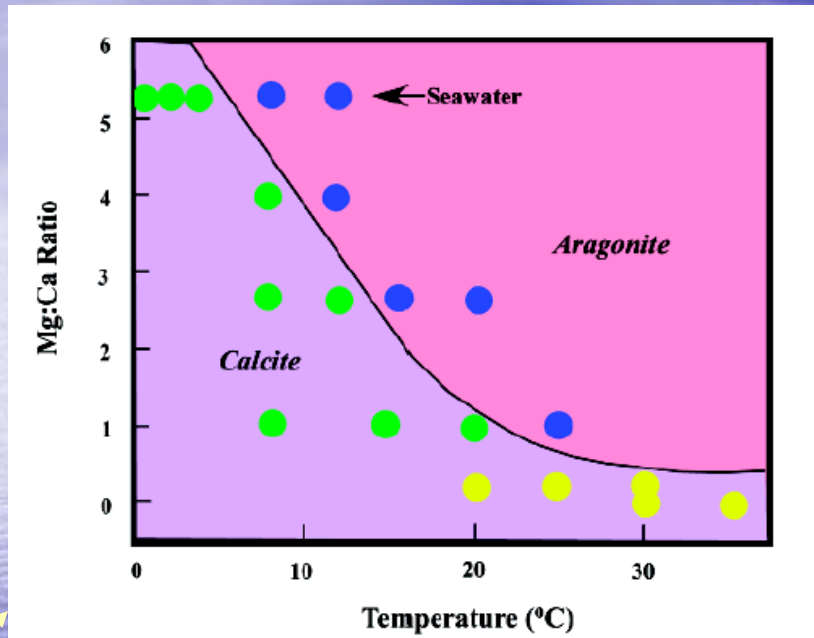
Trajanje procesa:
prosječno 1-2 dana.

Vrijeme pojavljivanja:
često sezonalne prirode,
kasno proljeće ili ljeto.

Područje pojavljivanja:
područja bogata otopljenim kalcijevim
i hidrogenkarbonatnim ionima -
oligotrofna jezera,
tropska i supropska mora.

Veličina:
nekoliko desetaka m² do nekoliko
stotina km².

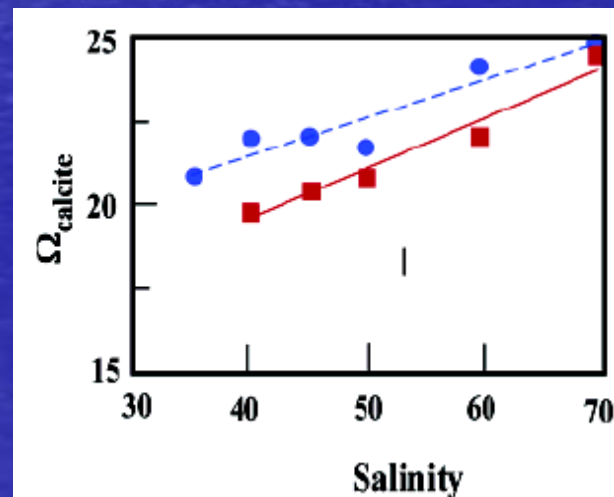
Sastav suspendiranih čestica - aragonit, kalcit, Mg-kalcit



Sastav suspendiranih karbonatnih čestica ovisi o:

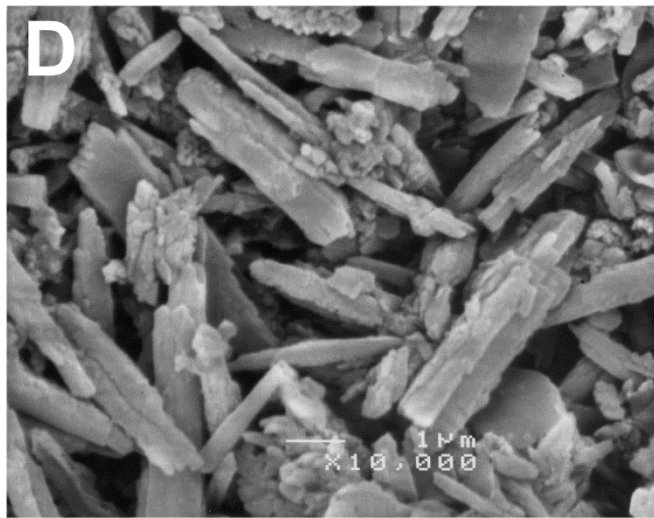
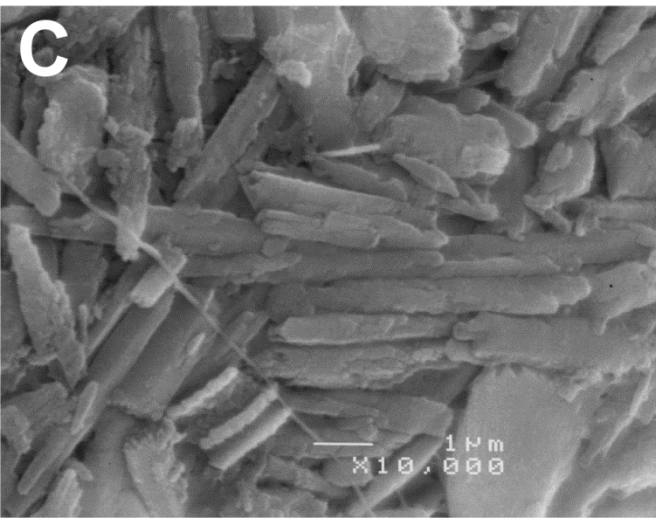
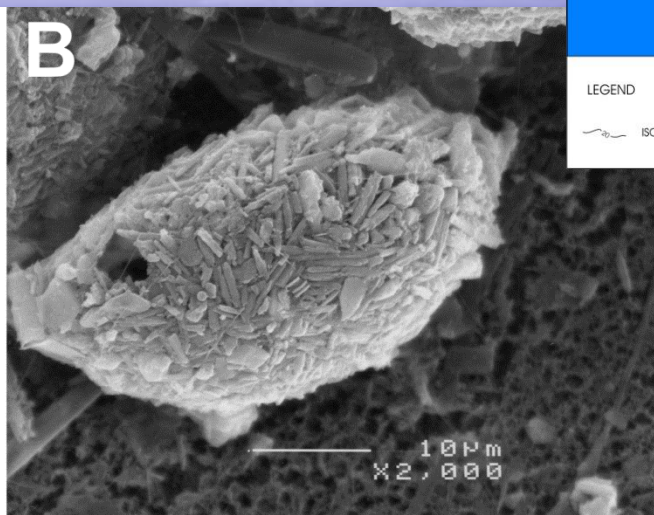
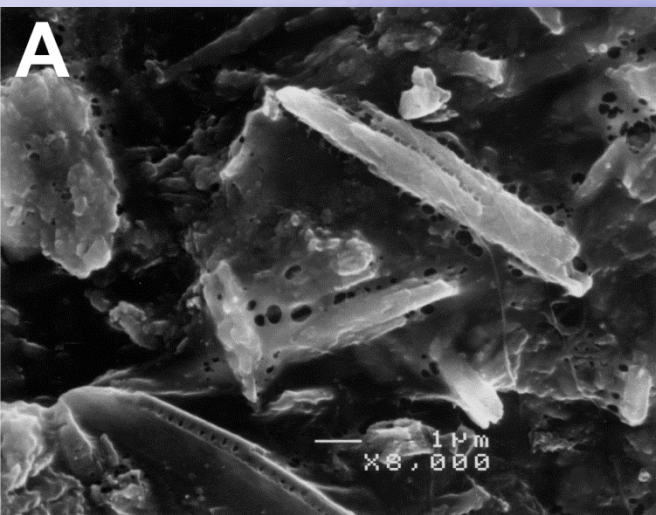
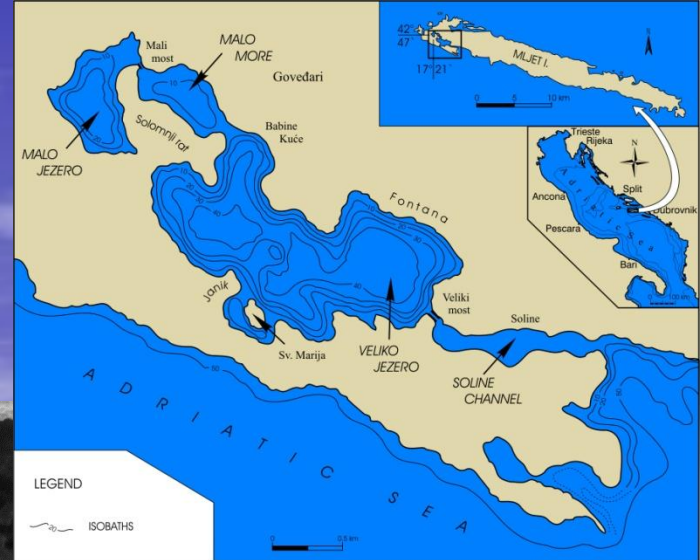
- ionskom sastavu vode
 - slatkovodni ili morski sustav
 - omjer koncentracije Mg^{2+} i Ca^{2+} iona
 - salinitetu
- temperaturi

Utjecaj omjera Mg^{2+}/Ca^{2+} iona i temperature na nukleaciju kalcijevog karbonata iz morske vode. Plave točke označavaju aragonit, žute kalcit, a zelene kalcit na kojem dolazi do naknadne precipitacije aragonita.



Prezasićenost kalcitom potrebna za pseudo-homogenu nukleaciju kalcijevog karbonata iz morske vode pri različitim salinitetima. Crvene oznake – temperatura 25°C, plave oznake – temperatura 40°C.

Bijeljenje se događa i u Mljetskim jezerima



SEM fotografije: (A) suspendirani materijal u površinskoj vodi Malog Jezera u vrijeme "bijeljenja"; (B) i (C) agregati (peleti) u suspendiranom materijalu sa ičličastim česticama aragonita; i (D) površinski sediment u Malom Jezeru.

Hidrogeni sedimenti

- U grupu hidrogenih stijena spadaju i **fosforiti** opće formule $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6 \text{F}_{2-3}$, koji se talože u zonama velike primarne produkcije. Dijelom su to skeletni ostaci, a dijelom nastaju remineralizacijom iz organskih ostataka u intersticijskoj vodi, i zamjenjuju prethodno istaložene karbonate. Najčešće se nalaze na dubinama ruba šelfa i gornjeg slaza. Fosforiti koje danas nalazimo u moru npr. ispred Kalifornije imaju oko 25 % P_2O_5 .
- Fosilna ležišta fosforita, koji su nastali u moru, nalaze se na različitim mjestima i različite su starosti (miocenski - Florida, Georgia, eocenski - zapadna Afrika).

Hidrogeni sedimenti

- Željezoviti spojevi također precipitiraju u moru. Nalaze se u anoksičnim okolišima kao **pirit** (FeS_2), a u oksičnim okolišima kao Fe oksidi i hidroksidi.
- Važni su za proces stabilizacije koncentracije kisika u moru. Željezo se može taložiti kao sulfid ili oksihidroksid, te negativnom povratnom vezom dolazi do stabilizacije koncentracije kisika. (Slično tome, ugljik se može taložiti kao organski ugljik ili kao karbonat; sumpor kao sulfat ili sulfid).
- Dosta istraživanja vezano je za **glaukonit**, željezoviti tinjac koji je autigen u moru. Taloži se u djelomično reduktivnom mikrokolišu (unutar kućica foraminifera, u peletima ili u intersticijama) na prijelazu iz aerobnih u anaerobne uvjete, ali naravno uz prisutnost odgovarajućih glina).

Hidrogeni sedimenti

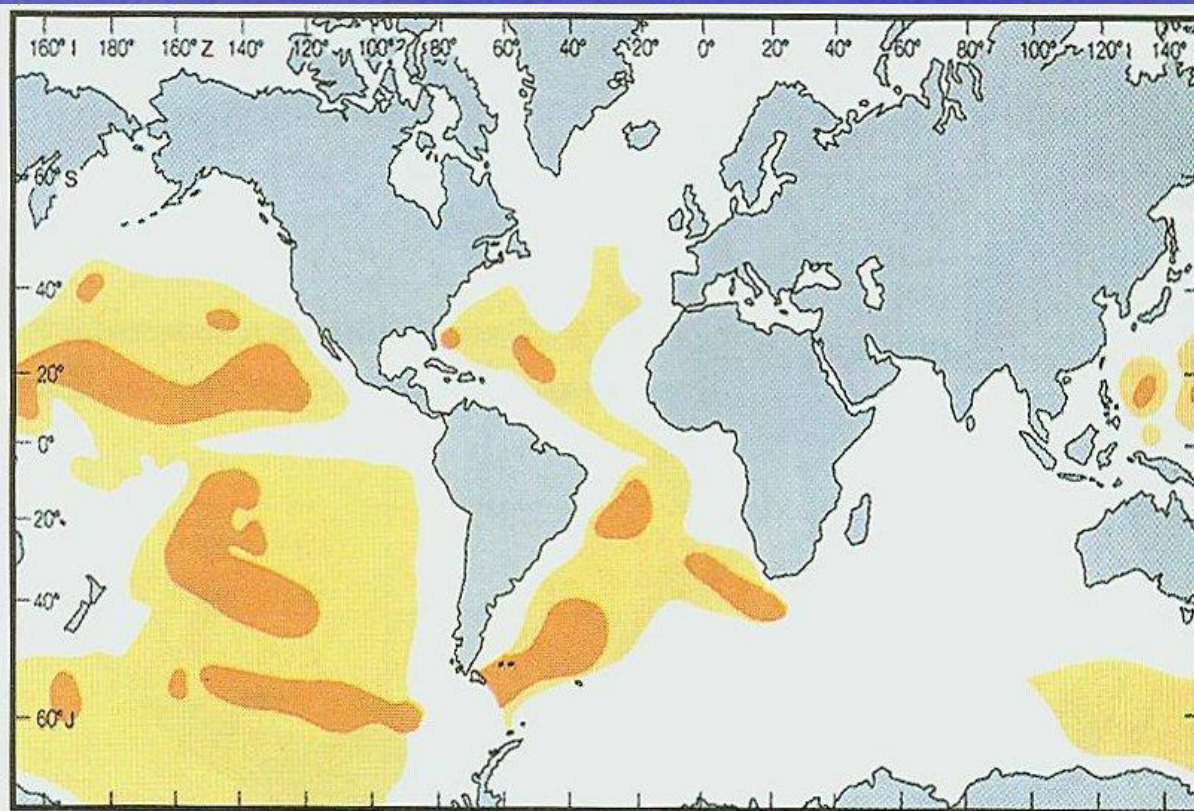
- Posebno su interesantne **feromanganske konkrecije** (Mn nodule) koje nalazimo na oceanskim dnima, u zonama spore ili vrlo spore sedimentacije (mm/1000 godina).
- Proces vezan uz promjene oksidoredukcijskih uvjeta na površini ili u blizini površine sedimenta kad Mn mijenja oksidacijski broj i prijelazi iz reduciranog oblika Mn^{2+} koji je topljiv u vodi, u oksidirani oblik Mn^{4+} koji čini netopivi oksid MnO_2 (birnezit, todorokit).
- Uz Mn konkrecije vezane su i povišene koncentracije mnogih metala koji koprecipitiraju s Mn oksidima (Ni, Co, Cu, Pb, Ti, Mo).

Feromanganske konkrecije ("manganske nodule")

Cu, Ni, Co !



Presjek "nodule"



Područje s mnogo nodula,
lokalno prelazi 90 %

Područje s nodulama

U koju vrstu stijena spadaju lapori?

- Što je lapor? (za razliku od prapora?)



Koromačno tupinolom

Brzine sedimentacije u moru

- Brzine sedimentacije znatno variraju u pojedinim marinskim okolišima i kreću se od 1 mm/1000 godina u otvorenim oceanima do nekoliko cm/godišnje – koraljni grebeni ili delte.
- Kako se određuju brzine sedimentacije (apsolutno i relativno vrijeme)?
- Metode određivanja apsolutne starosti znatno olakšavaju taj dio priče.

Primjer varvi

(Malo jezero, Mljet, Seibold & Berger, 1996)

