

Geologija mora

- Prof. Mladen Juračić
- Predavanja u akademskoj godini 2013/14
(za internu upotrebu)

Geologija mora

Uvod (1)

Povijest istraživanja mora i marinske geologije (2)

Čime ćemo se baviti i zašto?

- Povijest istraživanja mora i geologije mora
- Morfologija i nastanak oceana
- Morski sedimenti i kemija morske vode
- Tipovi sedimenata koji nastaju u moru
- Fizika voda; valovi, struje, taloženje
- Obala, morska razina i njene promjene

Čime ćemo se baviti i zašto? (II)

- Organizmi i more (život na morskome dnu)
- Klima i sedimenti, šelf, dubokomorski sedimenti i sedimentacija
- Paleooceanografija, Mediteran, Jadran
- Resursi i pravo mora
- Metode istraživanja i temelji geološkog kartiranja podmorja

Cilj ?

- Približiti geolozima i prirodoslovcima procese koji se događaju u morskom okolišu.
- Bolje razumjeti područje Zemlje veće no što je kopno.
- Okoliš u kojem je taložena većina sedimenata koje danas nalazimo na kopnu.



- ***Geologija mora*** bavi se naravi (prirodom), procesima i poviješću dijela Zemlje pokrivene morem. Uči nas o čvrstoj vezi između glavnih elemenata Zemlje: litosfere, hidrosfere, atmosfere, kriosfere, i biosfere.
- Cilj ***geologije mora*** je spajanje suvremenih i klasičnih geoloških koncepata u razumijevanju povijesti razvoja oceana i mora.
- Geolozi tradicionalno Zemlju gledaju kao kopno. No u stvari Zemlja je vodeni planet. Tektonika oceanskih prostora uvjetuje raspored kopna, a promjene u cirkulaciji oceana u geološkoj povijesti presudno su utjecale na globalni okoliš (*environment*).

Geologija mora = Marinska geologija =
Morska geologija = Podmorska geologija =
Geološka oceanologija

- **Geologija mora** je povezana sa srodnim znanostima a sastavni je dio i oceanologije (oceanografije) i geologije.
- Unutar oceanologije (znanosti o moru) vezana je čvrsto s kemijskom, biološkom i fizičkom oceanologijom, a preko njih i s tim fundamentalnim prirodosnanstvenim disciplinama.
- **Geologija mora** je odraz važnog principa u geologiji, **aktualističkog principa**, a posebno je povezana i dijelom se preklapa s regionalnom geologijom, sedimentologijom, globalnom tektonikom i drugima.

Metodološki

se *geologija mora* znatno razlikuje od klasične geologije jer se temelji prvenstveno na indirektnim metodama promatranja i uzorkovanju morskoga dna po unaprijed određenom planu. Neophodna je upotreba brodova, podmornica, daljinski upravljanih vozila/podmornica (ROV), i posebnih naprava za prikupljanje uzoraka, grabila i jezgrila (corera).

Metoda snimanja morskog dna pomoću ultrazvuka (side scan sonar)

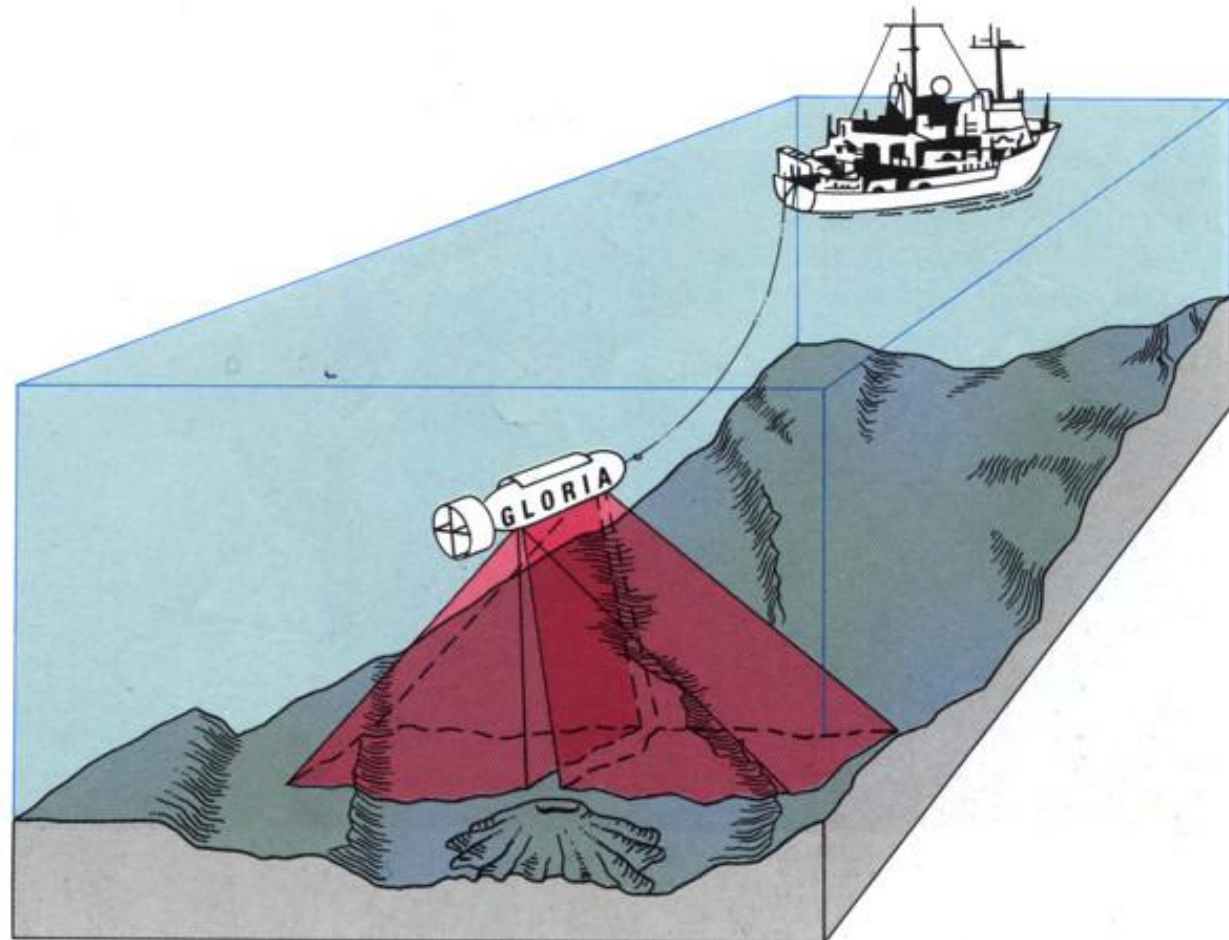


Figure 1.12 *GLORIA* is 8m in length and is towed 300m behind the mother ship at a speed of 10 knots and a depth of 50m, where it is neutrally buoyant—i.e. the overall density of the 'towfish' package is the same as that of the surrounding seawater. In water of 5000m depth, *GLORIA* can scan a swath of sea-floor about 60km wide and the time interval between sonar pulses (of 4s duration in the 6.2–6.8kHz range) is set at 40s to allow time for the most distant echoes to return. In water of shallower depths, the area covered and the time between pulses are reduced.

Na snimku se vidi morfologija, ali se i razlikuju kamenito, muljevito i pjeskovito dno.

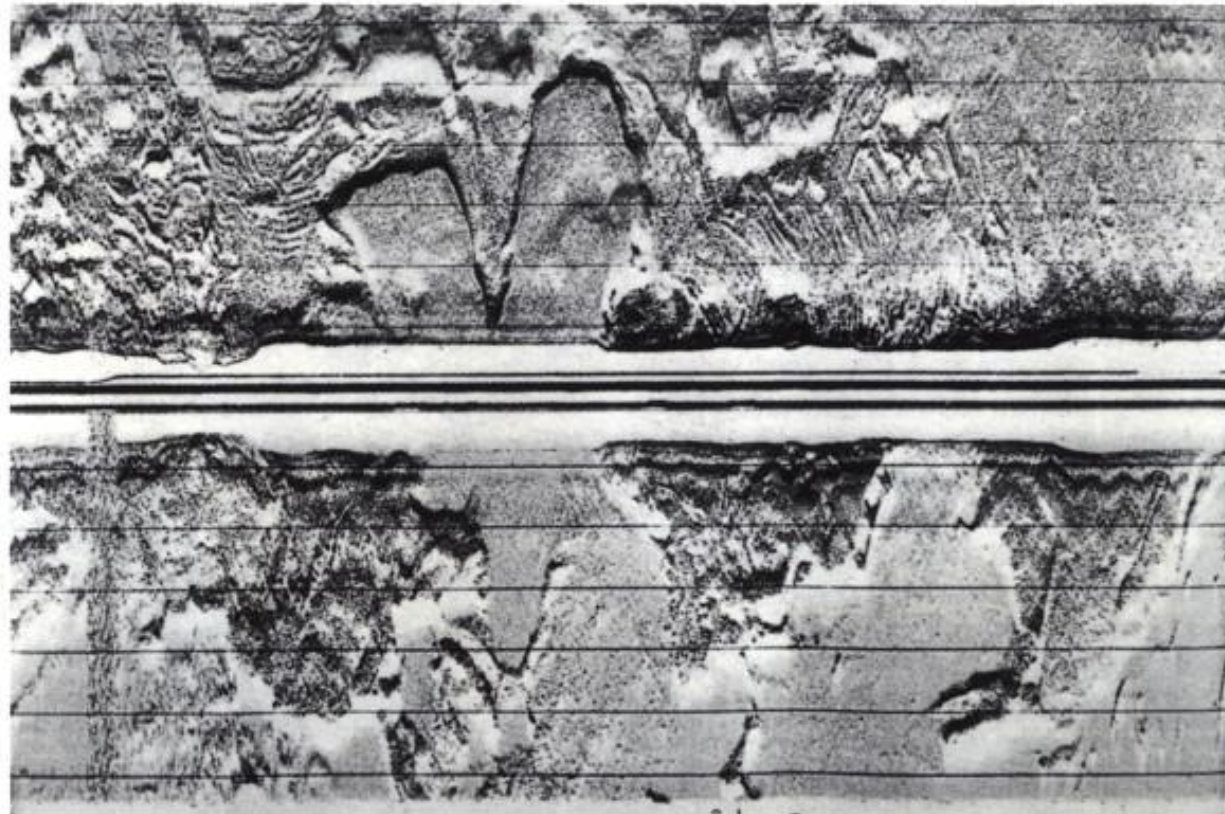
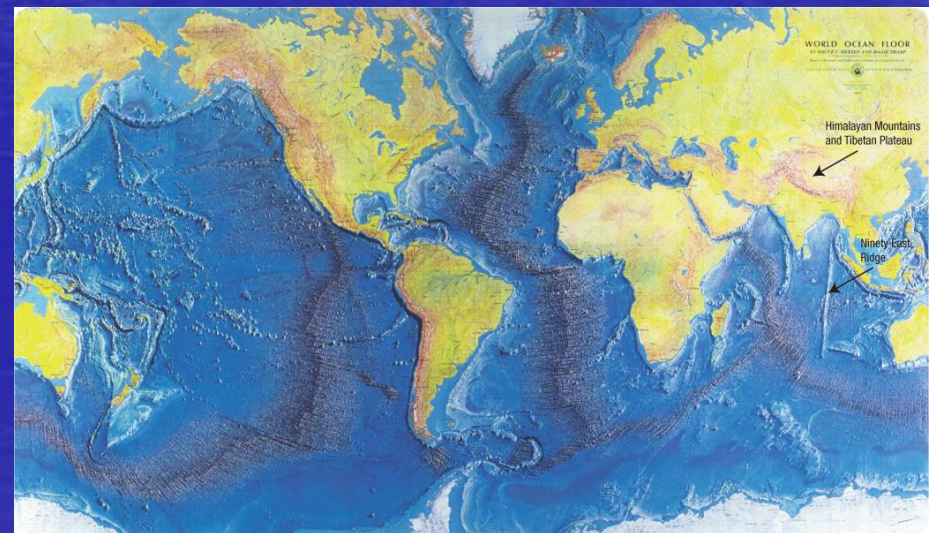


Figure 1.13 Part of a sonograph obtained from a side-scan sonar traverse at the entrance to the Black Sea. It shows bare rocky areas and sand-covered areas with sandwaves (megaripples). The central strip is the ship's path. The horizontal lines are 15m apart.

Povijest istraživanja mora i marinske geologije (2)

- Gotovo sve što se zna o geologiji oceana otkriveno je u posljednjih 50 godina.
- Većina površine Zemlje je istražena u to doba kad se marinska geologija razvijala zajedno s oceanografijom.
- To je doba jednog od najvećih geografskih i znanstvenih otkrića.



Povijest istraživanja mora i marinske geologije



- Temelje geologije kao zasebne znanstvene discipline postavio je **James Hutton** (1726-1797).
- U knjizi *Theory of the Earth* (Edinburgh, 1795) pisao je o marinskim stijenama na kopnu, a promjene morske razine (otimanjem od oceana, izranjanje materijala akumuliranog na morskom dnu na kopno) središnje su mjesto njegove "Teorije".
- Također je ukazao na vrlo veliku starost Zemlje.

Povijest istraživanja mora i marinske geologije

- Poznati kemičar **Antoine Laurent Lavoisier** (1743-1794) već je razlikovao dva tipa morskih sedimenata: **pelagičke** (ispod valne baze, za koje je karakteristična kontinuirana sedimentacija) i **litoralne** tj. obalne sedimente (kod kojih je česta resuspenzija).
- Njemački geolog **Johannes Walther** (1860-1937; Waltherov zakon!), među prvima počeo je proučavati obalne sedimente i procese u želji da objasni nastanak i karakteristike sedimentnih stijena na kopnu. Koristio je Hutton-ov **aktualistički princip**, tj. ideju da se pomoću današnjih procesa u prirodi može objasniti geološki zapis. (**uniformizam vs. katastrofizam**)

uniformizam vs. katastrofizam

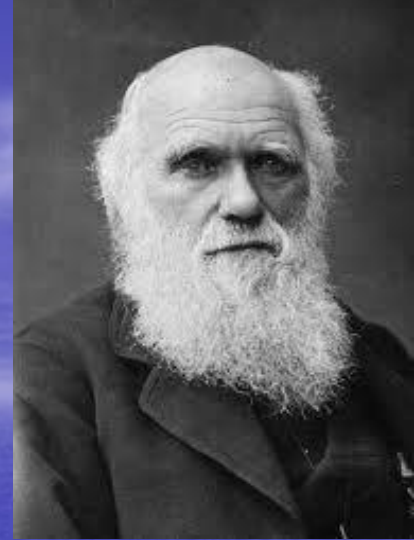
(digresija)

- Odnos uniformizma (temeljenog na aktualističkom principu) prema katastrofizmu u geologiji vrlo je zanimljiv i poučan.
- U početku je **kreacionizam**, temeljen na doslovnom čitanju Biblije, tumačio da je Zemlja nastala 4004. g prije Krista (James Ussher, 1581-1656, Anglo-Irski biskup). To je zahtijevalo da su procesi zapisani u stijenama i i reljefni oblici nastali u vrlo kratkom vremenu nekakvim katastrofalnim događajima. Takav je pristup nazvan **katastrofizam**.
- Suprotno tome **uniformizam** je učenje da su sve promjene na Zemlji bile postupne. Charles Lyell (19. stoljeće) smatra se ocem uniformizma. Taj je pristup u geologiji 19/20 stoljeća potpuno prihvaćen.

uniformitarizam vs. katastrofizam (digresija)

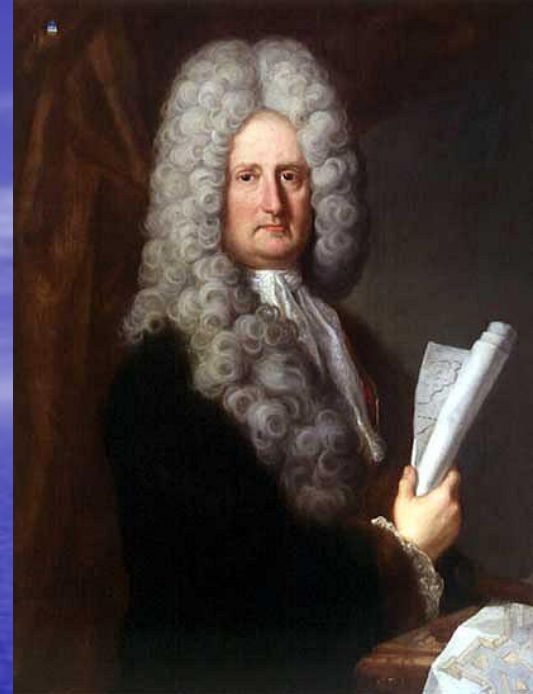
- Međutim, danas se razumije da je *većina* događaja u geološkoj prošlosti tekla postupno, ali da postoje i pojedini nagli (katastrofalni) događaji koji su također zapisani u stijenama.
- Takvi su na primjer:
 - K/T udar meteorita (bolida, asteroida promjera oko 10 km) koji je uzrokovao veliko izumiranje
 - nagla pražnjenja ledenjačkih jezera
 - punjenje mediteranskog Lago mare u mesinu ili Crnog mora prije 7500 g.
 - turbiditi
 - tsunamiti
 - velike vulkanske erupcije (Thira, Thera, Santorini, 1600 g. pne (3600 aBP) - Atlantida?, propast minojske civilizacije)...

Povijest istraživanja mora i marinske geologije



- Prethodnicom oceanografskih istraživanja, odnosno istraživanja otvorenih mora (high seas) može se smatrati putovanje HMS *Beagle* (Njuškalo) (1831-1836), na kojem je **Charles Darwin** postavio znanstvene osnove za istraživanje Zemljine povijesti (stvaranje vrsta evolucijom), te promišljanjima o gibanju morskoga dna u nastojanju da objasni stvaranje koraljnih otoka (atola).
- Uglavnom nije poznato da je **Charles Darwin** (1809-1882) prvenstveno geolog i da je bio vodeći član Geološkog društva. Četiri petine njegovih bilježaka s *Beagle*-a su s geološkim temama, a u rijetkim prilikama kad govori o sebi kao znanstveniku, nazivao se geologom.

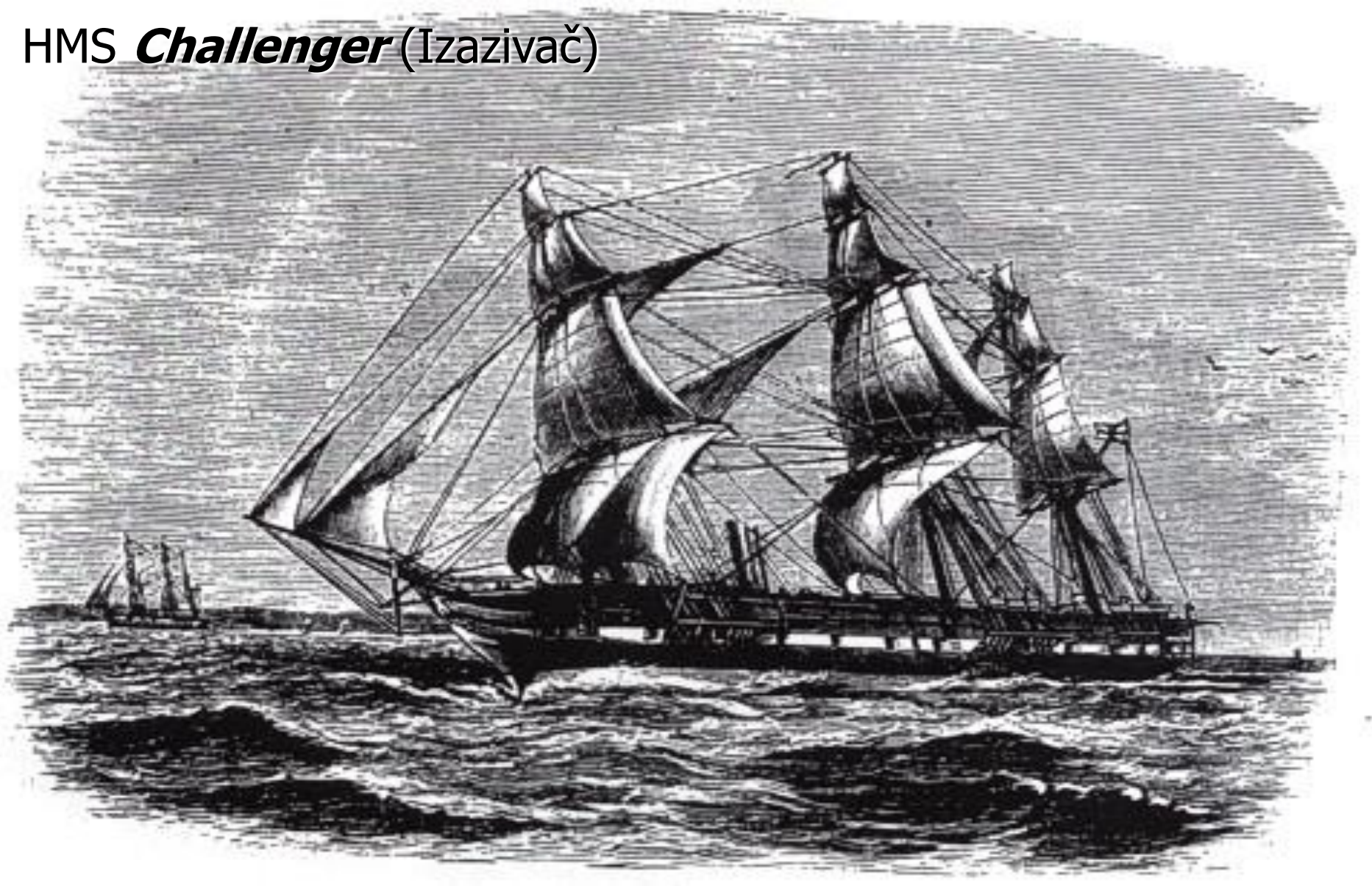
Povijest istraživanja mora i marinske geologije



- Davni prethodnik oceanografa bio je i bolonjski grof **Luigi Ferdinando Marsigli** (1658-1730). Smatra se da je otkrio (opisao) postojanje kontinentanskog šelfa (kojeg naziva podmorskom nizinom *plain* ili *pianura*), opisao je i postojanje pridnene protustruje u Bosporskom tjesnacu, čija je voda bila različite slanosti i gustoće od površinske, a prvi je mjerio visinu valova u Sredozemlju (4,55 m).

Početkom moderne oceanografije smatra se ekspedicija Kraljevskog društva iz Londona 1872-1876 brodom

HMS ***Challenger*** (Izazivač)

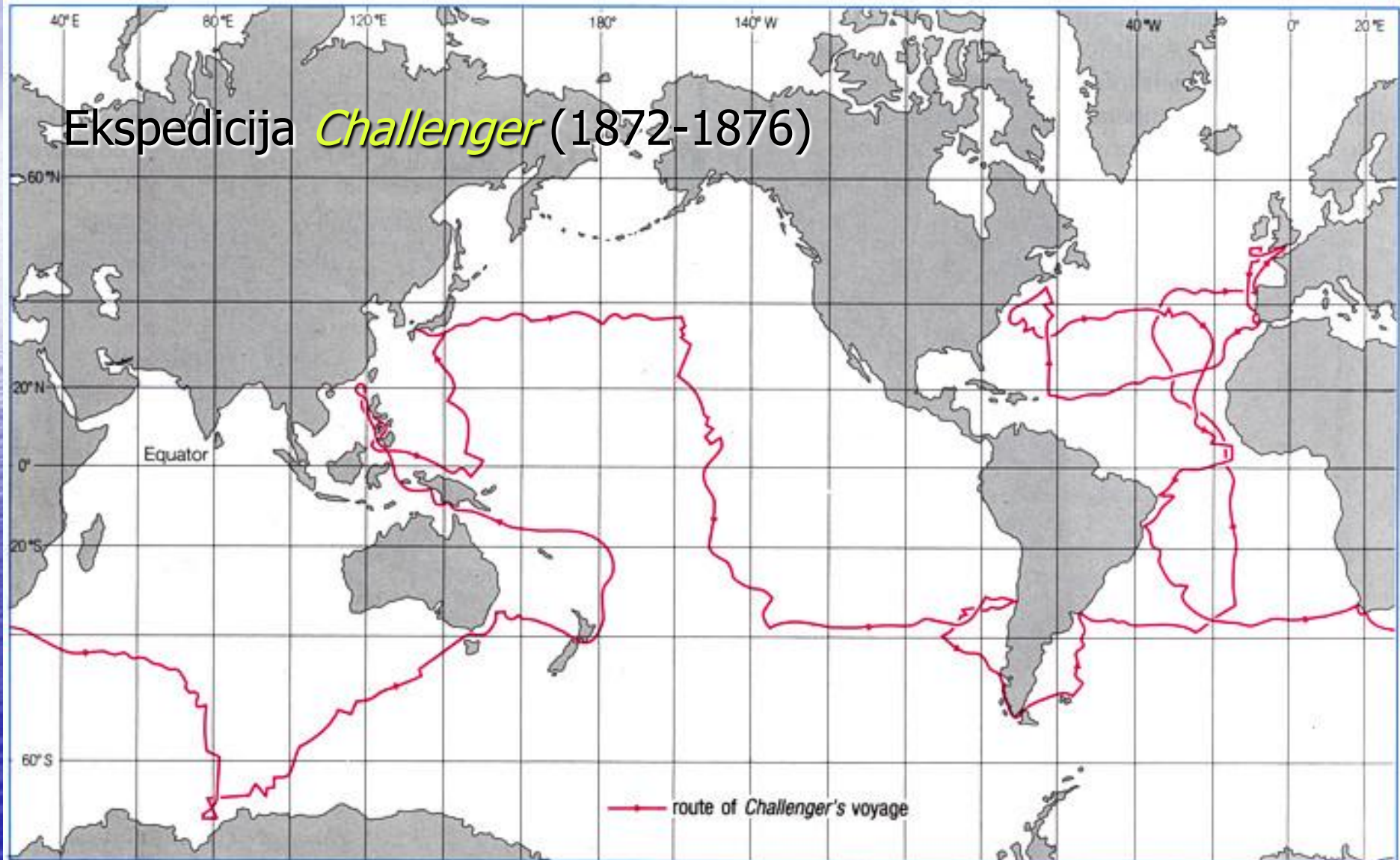


Ekspedicija *Challenger* (1872-1876)

- Ekspediciju je vodio biolog **Charles Wyville Thomson** (1830-1882). Još danas među najduljim ekspedicijama.
- Uputila se s ciljem da odredi "*uvjete u dubokom moru u svim velikim oceanskim bazenima.*"
- Na temelju te ekspedicije određena je **opća morfologija** dubokomorskog dna te **tipovi sedimenta** koji ga pokrivaju.

Prošla je 70 000 morskih milja u 4 godine (1872-1876).
Obavljeno je 500 mjerenja dubine, istražene su 362 postaje i uzeti
uzorci s morskog dna na 133 lokacije

Ekspedicija *Challenger* (1872-1876)



Istraživanje sedimentacije

Ekspedicija *Challenger* (1872-1876)

- Temeljni opis dubokomorskih sedimenata, njihovo rasprostiranje i klasifikaciju postavio je **John Murray** (1841-1914). Postavio je temelje **sedimentologiji dubokomorskog dna** i ocrtao temeljnu **dihotomiju** (različitost) između plitkomorskih, šelfnih sedimenata i dubokomorskih taložina. Istovremeno je unio zabludu da je duboko more vrlo miran okoliš, te da se pravi dubokomorski sedimenti ne mogu naći nigdje na kopnu.
- U narednih 70 godina nakon ekspedicije *Challenger*, sakupljeno je malo novih geoloških i geofizičkih podataka o oceanskim dnima.

Istraživanje sedimentacije

- Važan napredak u razumijevanju stvaranja oceanskih sedimenata donio je **Philip H. Kuenen** (1902-1976) eksperimentirajući s mutnim strujama i objašnjavajući nastanak graduiranih sedimenata (fliš!).
- To je jedna od važnih revolucija u geoznanosti!

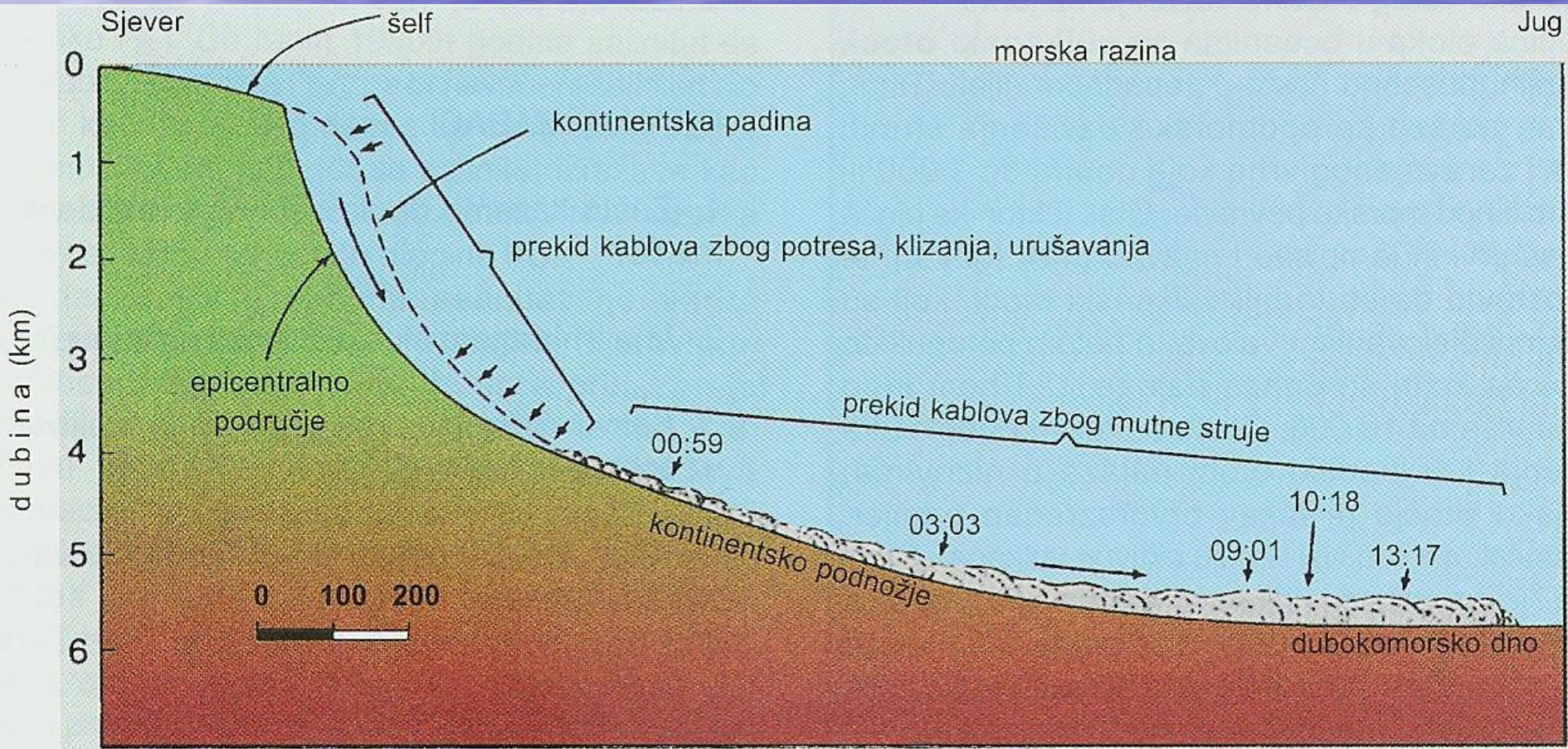


Istraživanje sedimentacije

- **Bruce C. Heezen** (1924-1977) i **Maurice Ewing** (1903-1976) na temelju istraživanja potresa i njegovih posljedica na Grand Banks 1929, ukazali su 1952 godine na postojanje mutnih struja u prirodi i stvaranje turbidita.

Istraživanje sedimentacije

Mutne struje / turbiditi



Interpretacija nastanka mutne struje 18. 11. 1929. nakon potresa ispred New Foundlanda (NW Atlantik), prema Heezen & Ewing, 1952.

Istraživanje sedimentacije

- Ekspedicije koje su znatno pridonjele razvoju marinske geologije:
- njemačka brodom *Meteor* (1925-1928) kad su počela uzorkovanja jezgri i po prvi put je određivana brzina sedimentacije u otvorenim morima
- švedska brodom *Albatross* (1947-1948) kad je dokazana ciklička sedimentacija u svim oceanima kao posljedica klimatskih promjena u posljednjih milijun godina

Istraživanje sedimentacije

- **Deep Sea Drilling Project (DSDP)** brodom ***Glomar Challenger*** (1968-83), do sada je najveći projekt ekspedicijskog tipa dao je vrlo značajne rezultate u istraživanju tercijskih i krednih sedimenata dubokog mora.

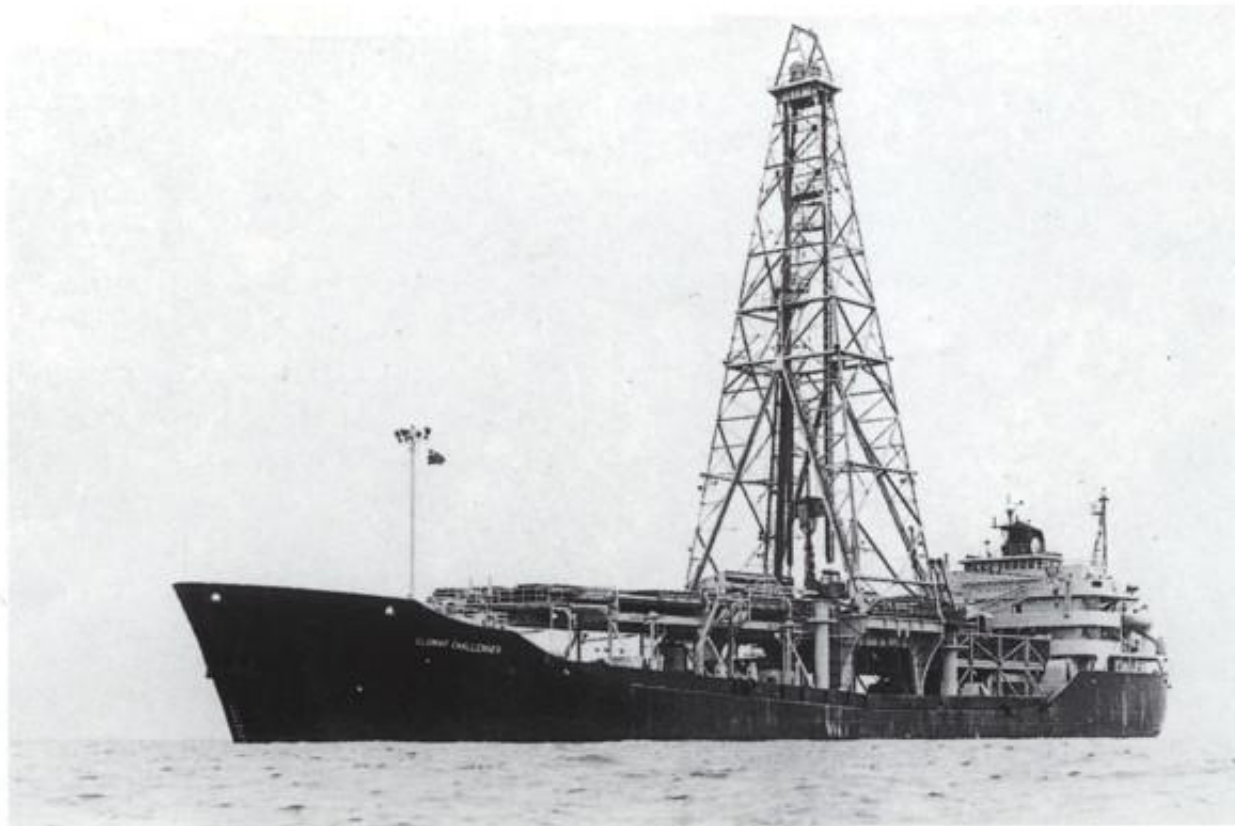


Figure 1.19 *Glomar Challenger*. Thrusters in the bow and stern were controlled by computer to maintain station within 30m of a point directly above an electronic beacon on the ocean floor. Drilling could thus proceed without snapping the drill string.

Istraživanje sedimentacije

Nastavak DSDP je **ODP** (Ocean drilling project) koji usavršenim brodom ***JOIDES Resolution*** buši morsko dno od 1985. godine.

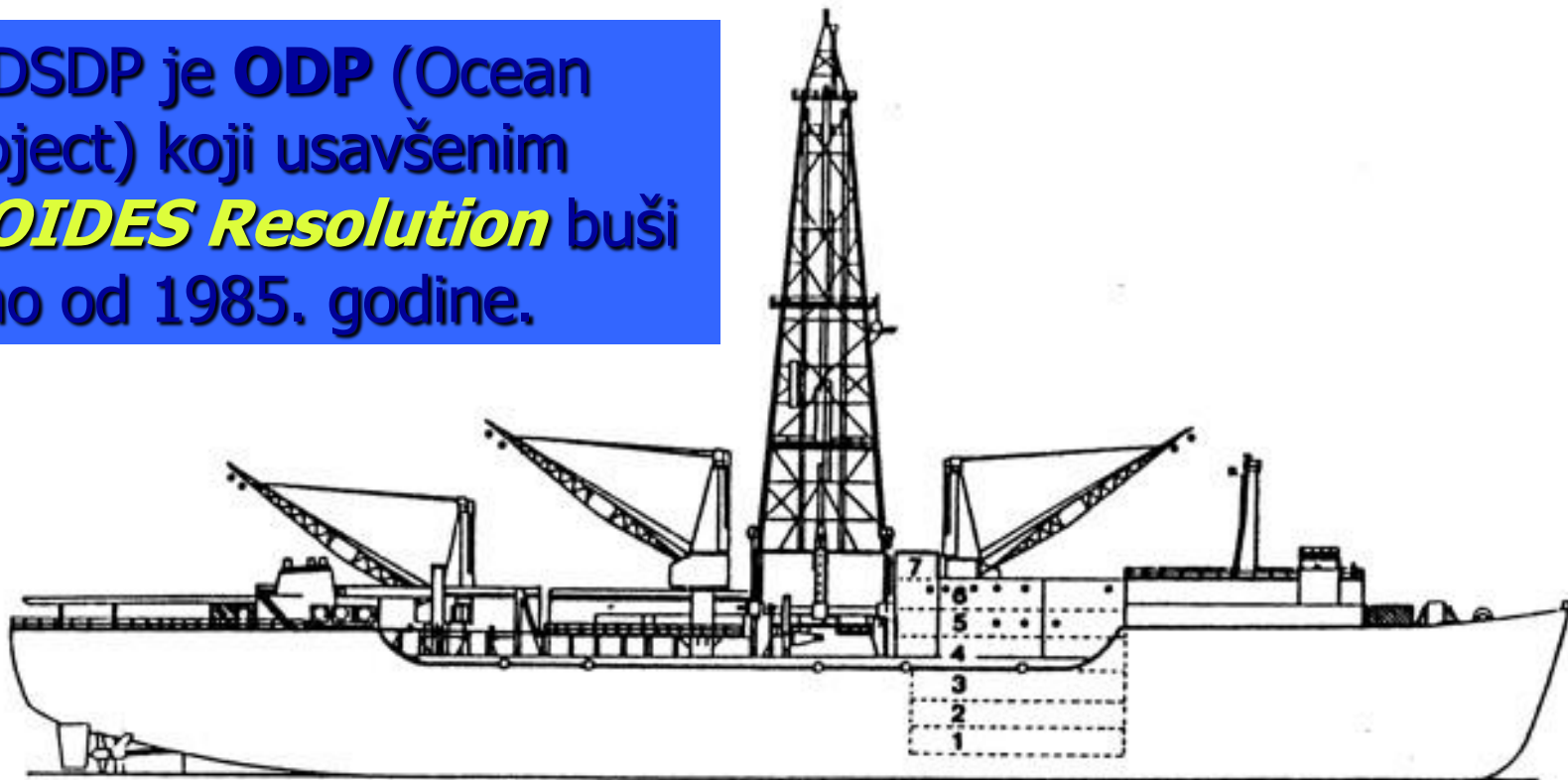
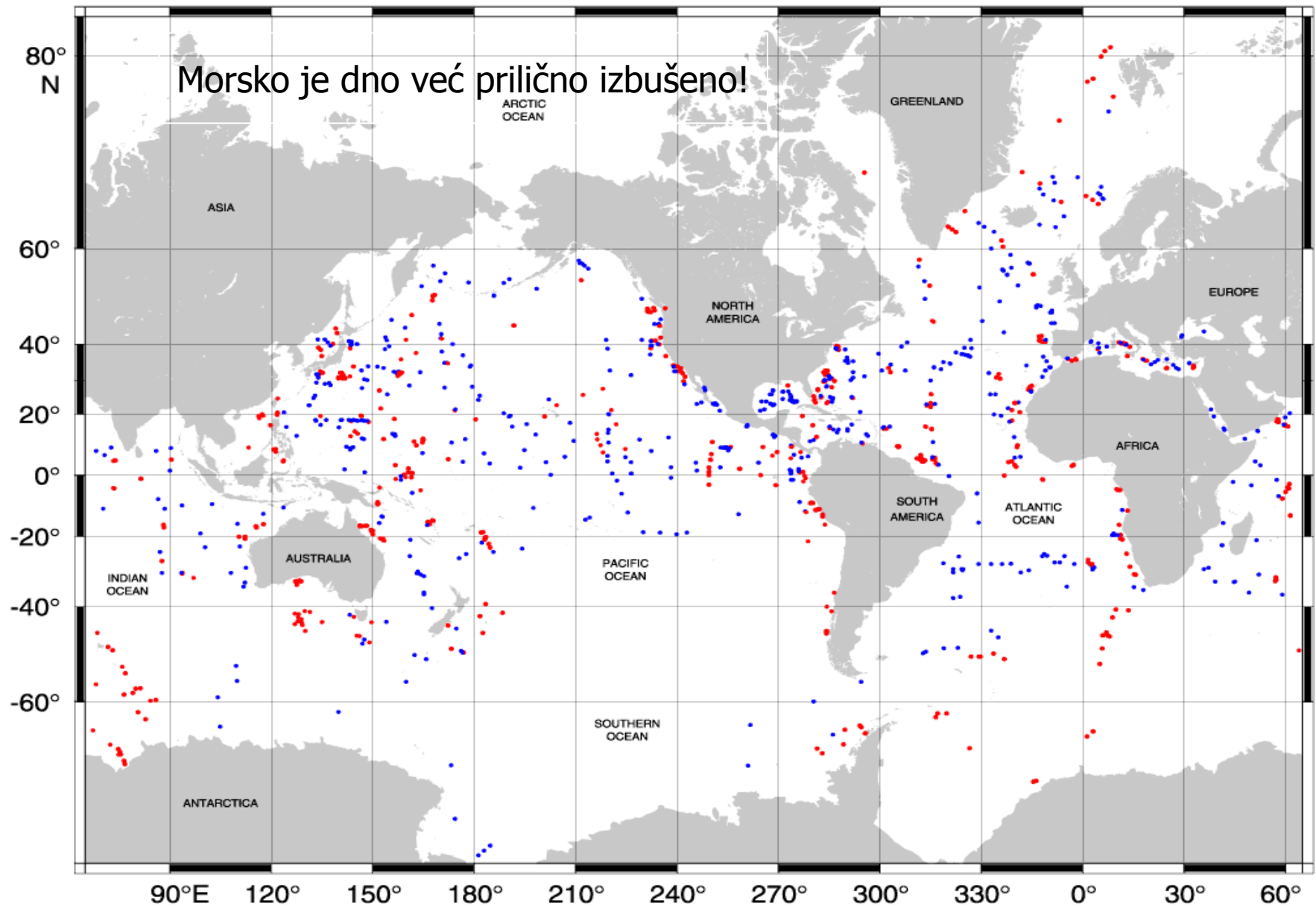


Fig. 0.7. Layout of the deep-sea drilling vessel *JOIDES Resolution*. It is the successor of the *GLOMAR Challenger*, but is larger, 143 m long. Therefore it can work in rougher seas and in higher latitudes. The capacity of the many modern laboratories on board allows 50 scientists and technicians to participate. From Level 7 downhole measurements are carried out. At Level 6 drilled cores are received and distributed to the sedimentological, petrological, paleontological, physical, and chemical laboratories at Levels 3–6. One half of each core goes to the archives. In 1983 the Ocean Drilling Program (ODP) began as continuation of DSDP with the participation of 10 US institutions, as well as Germany, France, the UK, Canada & Australia, Japan, and a consortium of the European Science Foundation. *JOIDES Resolution* has been active since 1985. Texas A&M University is managing the program. [Joides Journal 1985]





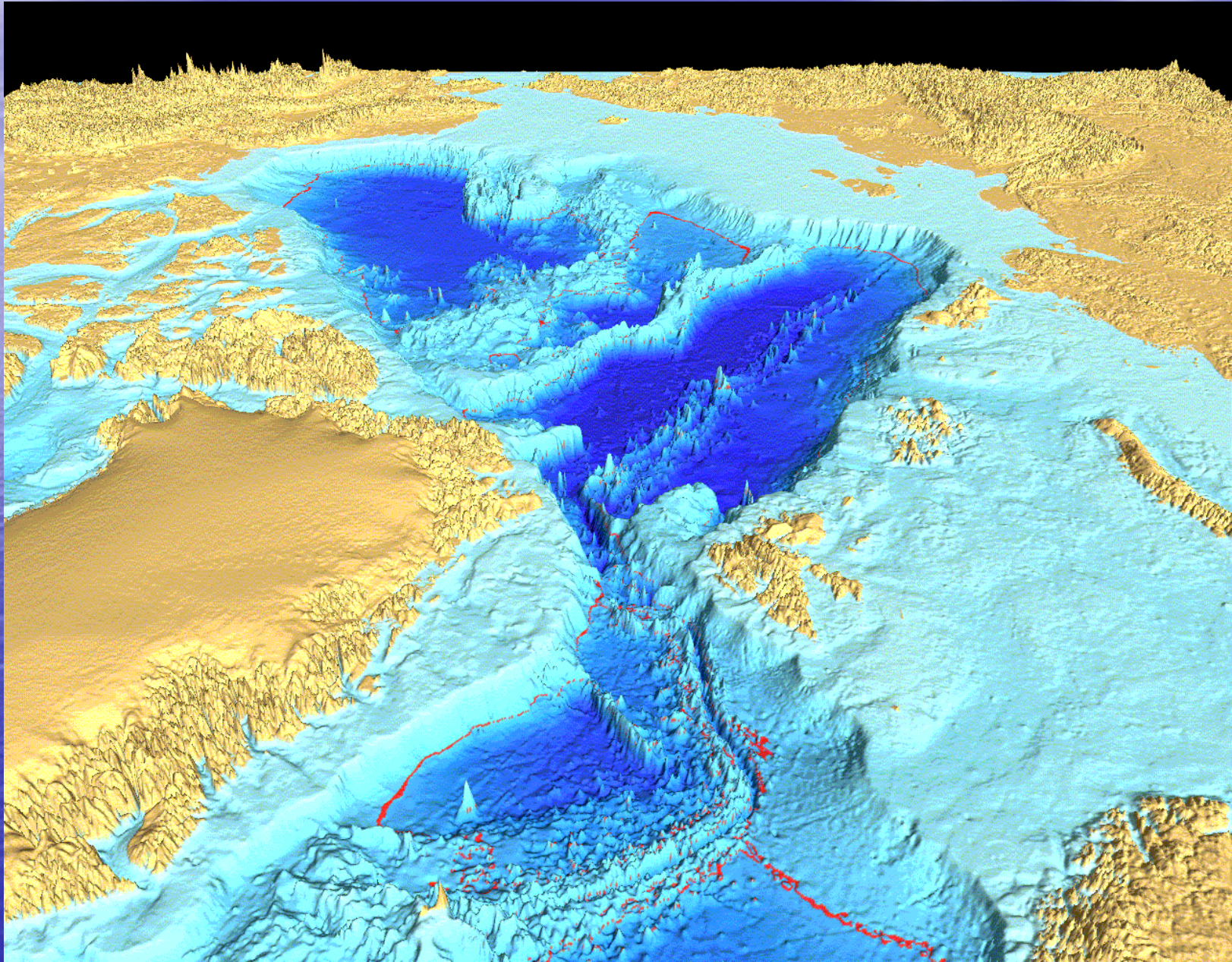


DSDP Legs 1-96, Sites 1-624 (●) and ODP Legs 100-210, Sites 625-1277 (●)

Još noviji japanski brod za
dubokomorska bušenja
(2004) *Chikyu*



Vrlo su aktualna istraživanja morskoga dna Arktika
(pretpostavlja da ima 25 % rezervi nafte i zemnog plina)

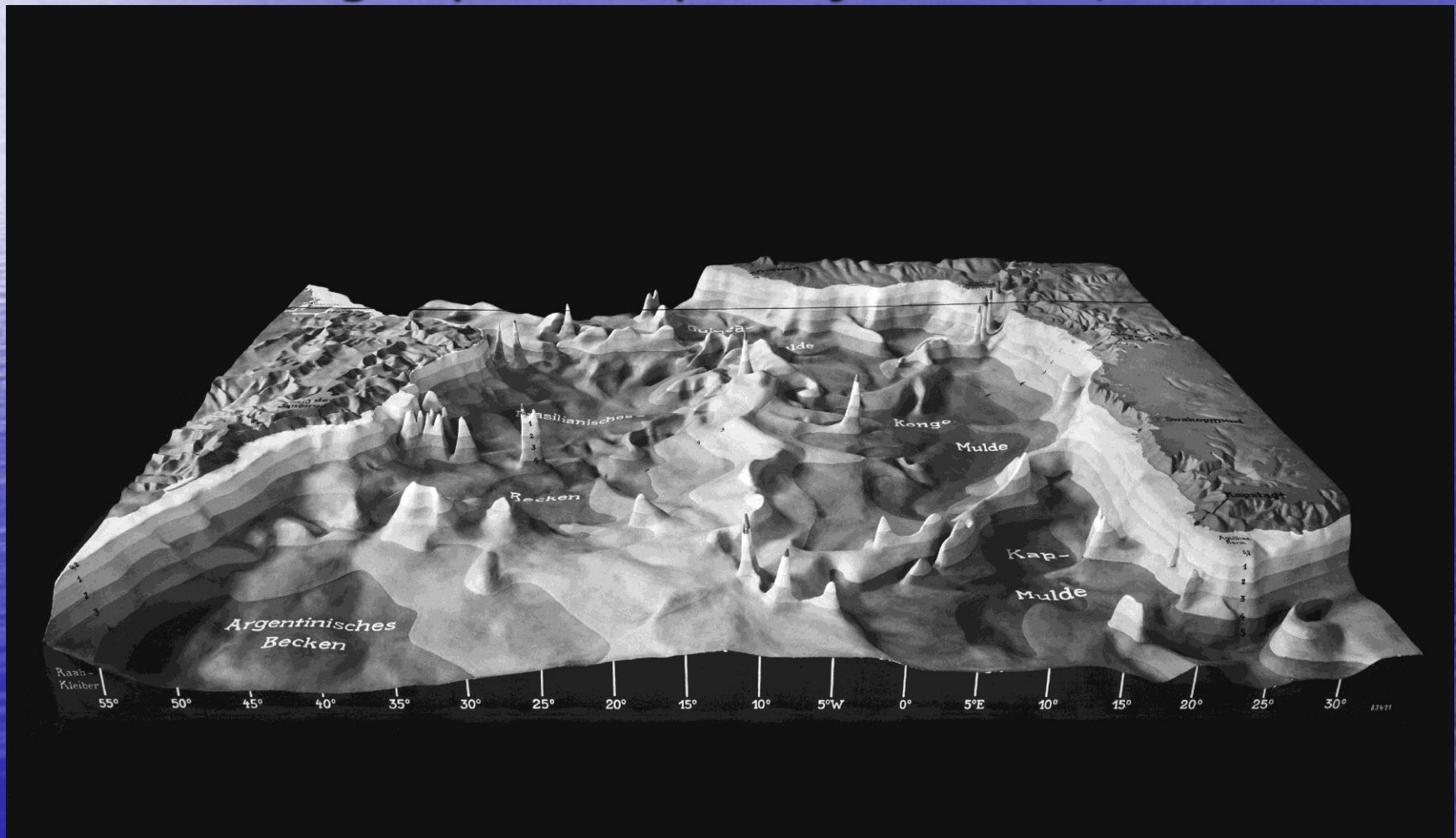


Istraživanje morfologije morskog dna

- Budući da je obalna morfologija bila najpristupačnija, već početkom 20. stoljeća **D.W. Johnson** tiska knjigu *Shore Processes and Shoreline Development* (1919). **Francis P. Shepard** (1897-1985) i **Jacques Bourcart** (1891-1965) posebno su se bavili nastankom kontinentskih rubova i podmorskim kanjonima, izučavajući njihovu morfologiju i sedimentacijske procese vezane uz njih.

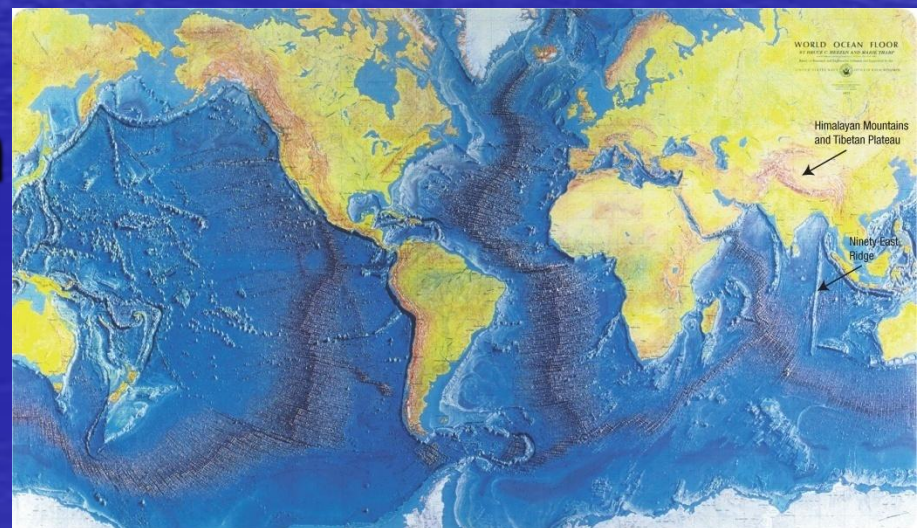
Istraživanje morfologije morskog dna

- Prvi trodimenzionalni model središnjeg Atlantskog hrpta. Ekspedicija *Meteor*, 1925/27.



Istraživanje morfologije morskog dna

- **Bruce Heezen** bio je i vrsni marinski geomorfolog. Zajedno s **Marie Tharp** nacrtao je i znamenite karte morfologije oceana u *National Geographic*-u. Posebno se bavio oceanskim hrptovima i s **M. Ewingom** otkrio je da je Zemlja okružena neprekinutim oceanskim hrptom.



Morfologija morskog dna

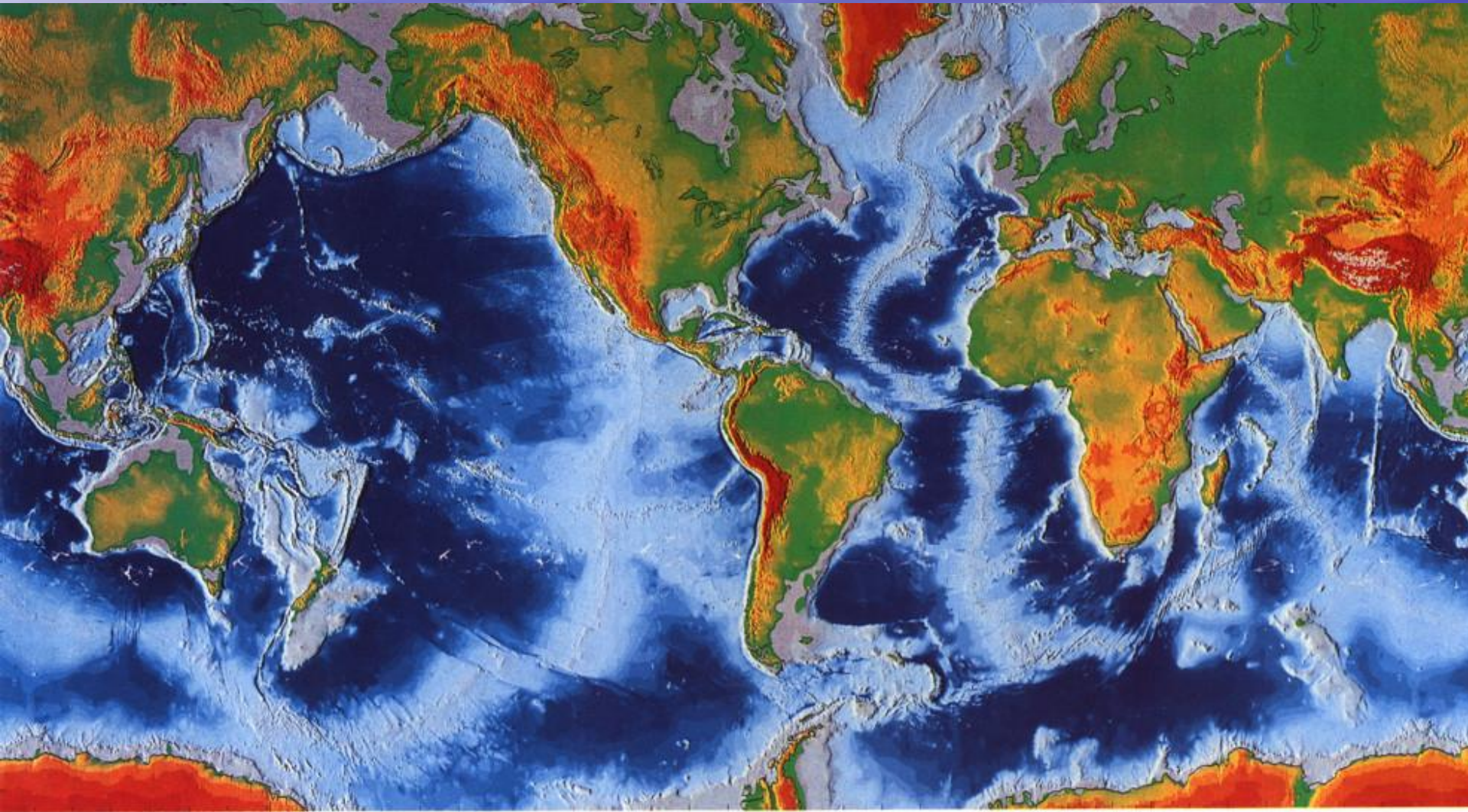


Figure 1.11 Shaded relief map of the Earth's solid surface. The Ninety-east Ridge is the linear ridge running almost north-south to the south-east of India near the right-hand edge of the map.

Istraživanje morfologije morskog dna

- Međutim zadovoljavajuće objašnjenje ukupne morfologije oceanskih bazena dali su geofizičari koji su proučavali kretanja i sile duboko u Zemlji.
- Prvi koji je pokušao objasniti morfologiju oceanskih rubova tj. sličnost obalnih linija s obje strane Atlantika pomicanjem kontinenata 1912 bio je meteorolog i geofizičar **Alfred Wegener** (1880-1930). Uveo je umjesto paleontoloških kopnenih mostova tzv. plutanje kontinenata *The origin of Continents and Oceans*, 1915 u kojem daje rekonstrukciju Pangea-e.
- Marinski geofizičari istražujući magnetizam morskog dna, seizmiku, toplinske tokove (Bullard, Ewing) dovode do stvaranja podloge za **tektoniku ploča** (*plate tectonics*).

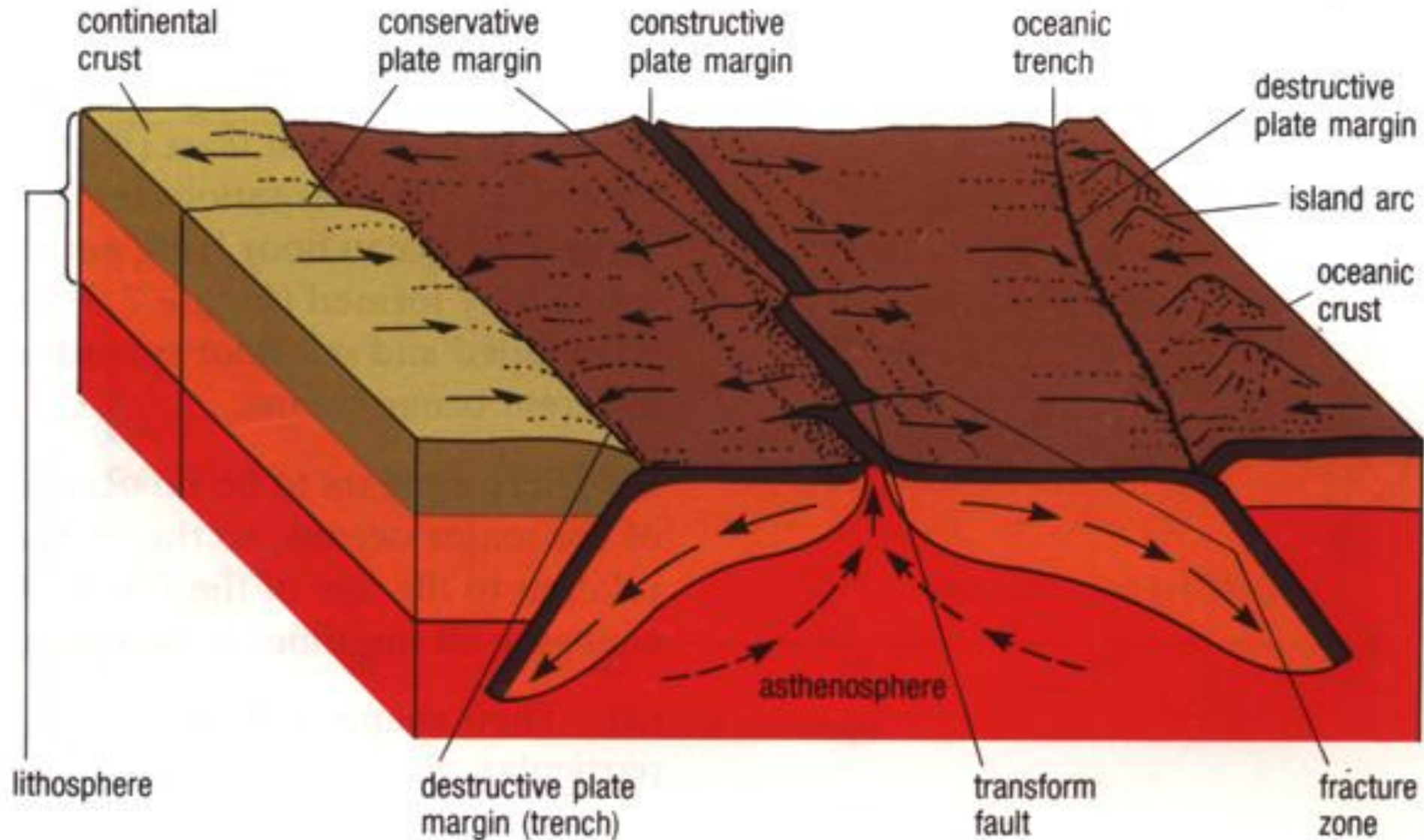
Istraživanje morfologije morskog dna

- Veliku revoluciju u znanosti/geologiji donio je **Harry H. Hess** (1906-1969) geolog i pomorski oficir, važnim, prekretničkim radom *History of Ocean Basins* (1962), u kojem je povezao gravitacijske anomalije, širenje hrptova i serpentinizirane peridotite u suvislu cjelinu (nova paradigma).
- Sam izraz ***sea floor spreading*** (širenje morskog dna) uveo je **R. Dietz** (1961).



Nova! (1962) paradigma

Tektonika litosfernih ploča (*Plate tectonics*)



Geološka istraživanja Jadrana

- 1806 Morfologija i prva batimetrijska snimanja priobalja . Tko je započeo?
- Francuzi!
- 1912 ekspedicija *Najade* i *Cyclope*.
Austrougarska i Talijanska zajednička istraživanja sjevernog Jadrana (29 uzoraka sedimenata)

Geološka istraživanja Jadrana



- 1913, 1914 (1973) ekspedicija *Vila Velebita* (Kvarner, sj. Jadran, također i uzorkovanje sedimenata)
- 1948 ekspedicija *Hvar* (srednji Jadran, sedimenti)
- 1962 *Horizon*, *Nuovo San Pio* (sedimentne jezgre, južni Jadran).
- 1974/76 ekspedicija *Andrija Mohorovičić* od Rovinja do Otranta...

Osobe rođene u Hrvatskoj, u kojoj su (manje ili više) djelovale, vrlo značajne u svjetskoj geoznanosti, a vezane i uz geologiju mora

- **Ruđer Bošković** (1711 Dubrovnik –1787 Milano)
- U djelu *De literaria Descriptione* iznosi temelje **teorije izostazije**. Zaključuje da je relativno mali otklon viska pri planinama uvjetovan time što su dublji slojevi gušći, pa pretežu u gravitaciji. Također upotrebljava izraz Zemljina kora, a spominje i djelovanje "podzemnih ognjeva" koji izdižu ravne dijelove Zemljine kore.

Prema portretu:

Robert Edge Pine, London, 1760



Osobe rođene u Hrvatskoj, u kojoj su (manje ili više) djelovale, vrlo značajne u svjetskoj geoznanosti, a vezane i uz geologiju mora

- **Andrija Mohorovičić** (geofizičar) (1857 Volosko - 1936 Zagreb): Slavno je i poznato ime u cijelom svijetu. Prema njemu je nazvan Mohorovičićev diskontinuitet ili "Moho sloj".

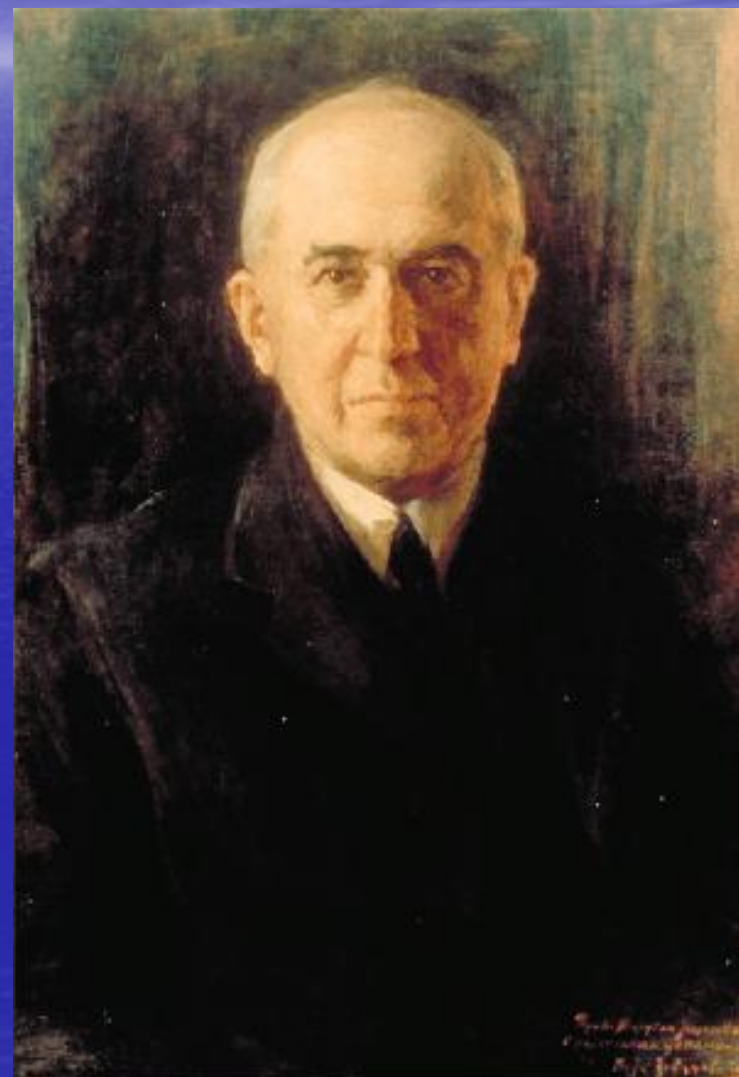


Osobe rođene u Hrvatskoj, u kojoj su (manje ili više) djelovale, vrlo značajne u svjetskoj geoznanosti, a vezane i uz geologiju mora

- **Milutin Milanković**

(inženjer – astronom –
geofizičar – klimatolog)

- (1879 Dalj -1958 Beograd):
Iznio je matematičku teoriju termičkih pojava izazvanih Sunčevom radijacijom. Temelj paleoklimatologije, danas se često čuje u svijetu. Croll - Milankovićevi ciklusi.



Ova predavanja se nalaze na:

https://www.pmf.unizg.hr/geol/predmet/geomor_b

Korištena i preporučena literatura:

- Seibold, E. & Berger, W. (1996): The Sea Floor, An introduction to Marine Geology. Springer Verlag Berlin (3. edition), pp.356.
- Open University Oceanography course (knjige 1-6, 1992).
- Lalli, C. & Parsons (1993): Biological oceanography: An introduction.
- Courtillot V.(1999): Evolutionary Catastrophes. The Science of Mass Extinction. Cambridge Univ. Press, pp.173.
- ...