



Универзитет у Новом Саду
Природно-математички факултет
Департман за географију, туризам и хотелијерство

Мр Млађен Јовановић

Катедра за Физичку географију



Тектоника плоча – општеприхваћена геолошка теорија која објашњава процесе настанка и еволуције континената и океанских басена и највећих облика рељефа на/у њима.

Развијена је на концепту теорије о кретању континената (А. Wegener, 1915) и доказана великим бројем доказа из свих области геологије, палеонтологије, физике, хемије и математике (Maley, T.S., 2005)



HAMAÇY



Kašima
Pangasius

ЗЕМЉОТРЕСИ M≥4,5

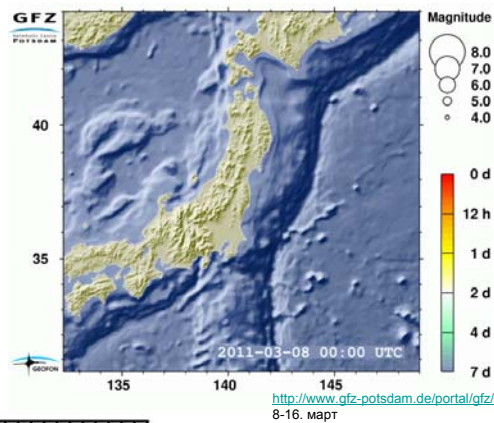
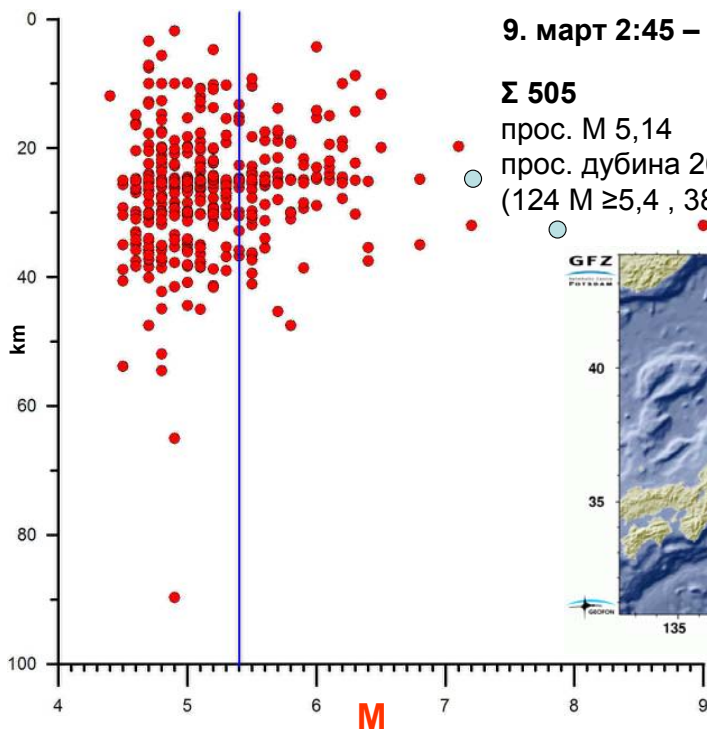
9. март 2:45 – 15. март 23:58 UTC

Σ 505

прос. M 5,14

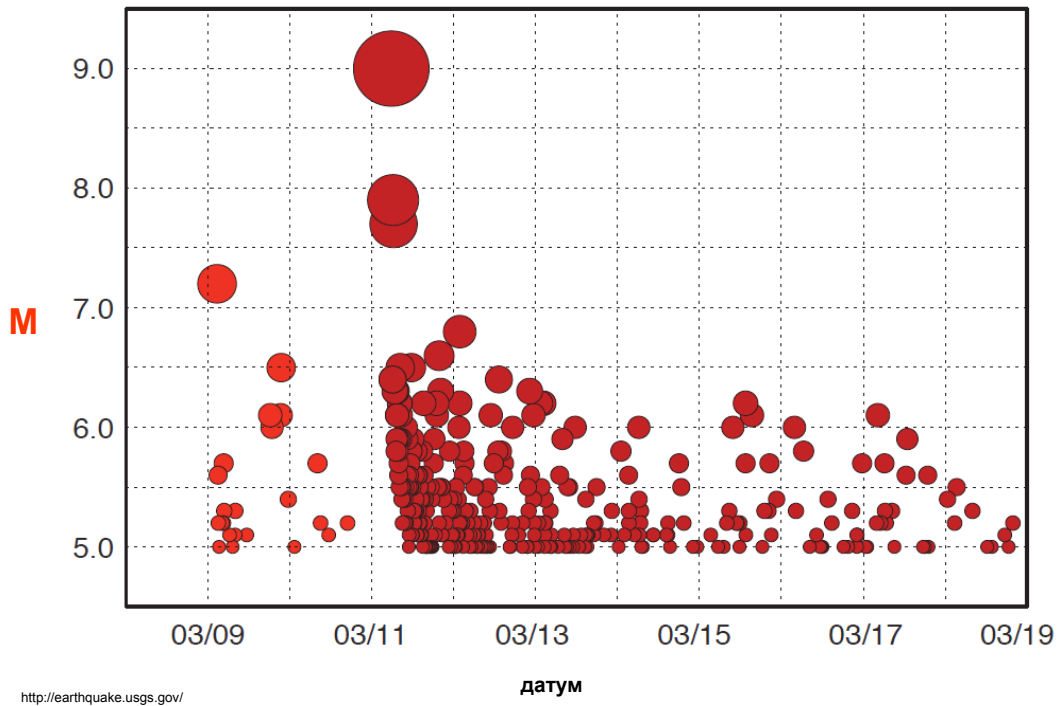
прос. дубина 26,1 km

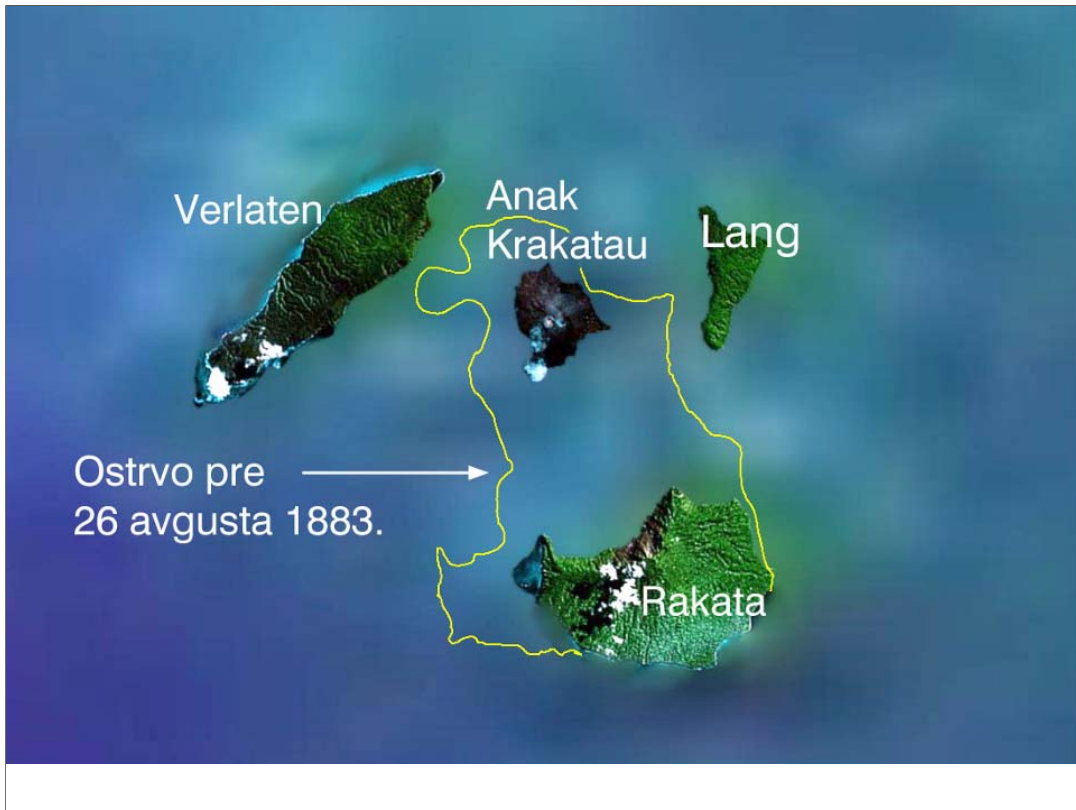
(124 M ≥ 5,4 , 38 M ≥ 6)



ЗЕМЉОТРЕСИ M≥4,5

9. март - 19. март



















За разумевање тектонике плоча, неопходно познавање унутрашње грађе Земље.

Унутрашњи омотач – извор конвективног кретања растопљеног материјала – мотор за кретање плоча литосфере

Спољни омотач се састоји од два дела –

вишег који се пружа од Мохо(ровичићевог) дисконтинуитета до дубине од око 100 км и који је у чврстом стању и

нижег (астеносфера) који се налази у специфичном растопљеном стању – преко њега леже плоче литосфере.



Литосфера и Земљина кора **нису** синоними!

Литосфера се састоји од Земљине коре и горњег дела спољнег омотача језгра.

Земљина кора се дели на *кору океанског* и *кору континенталног типа*.

Термини који се могу наћи у литератури:

– за кору океанског типа: *базалтна* кора, *СИМА* кора;

-за континенталну кору: *гранитна* кора, *СИАЛ* кора

-издвајан је још седиментна кора/слој.

Океанска кора је дебљине од 5 до 15 км. Кора овог типа покрива око 60% површине планете.

Континентална кора је моћности од 30 до 80/85 км и представља око 70% запремине Земљине коре.

Различита густина ових кора је од суштинског значаја за одвијање процеса које објашњава тектоника плоча.

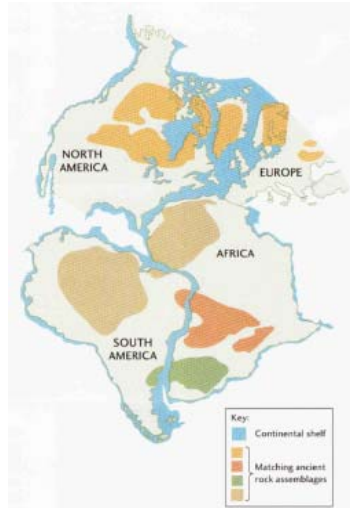
Доња граница Земљине коре представљена је Мохо(ровичићевим) дисконтинуитетом који се налази на различитој дубини испод океанске и континенталне коре (принцип изостазије).

Горњи део спољнег омотача, до дубине од око 100 км, представља доњи део литосфере.



Алфред Вегенер (Wegener, 1880-1930)
Entstehung der Kontinente und Ozeane –
The Origin of Continents and Oceans (1912/1915/1920)

1590-их - холандски картограф Абрахам Ортелиус
1858 – географ Antonio Snider Pellegrini
1910. Frank B. Taylor



**ГЕОЛОШКИ ДОКАЗИ
+
ПАЛЕОНТОЛОШКИ ДОКАЗИ**

Hipparion – Флорида и Француска

пречи тапира – Ј. Америка и ЈИ Азија

трилобити – Европа и Њуфаундлед
(само са једне стране!)
- Европа и СИ Пацифик

НЕПОЗНАТ РАЗЛОГ КРЕТАЊА...

“Не стоји ли источна обала Ј. Америке тачно наспрам западне обале Африке, као да су некада биле спојене? То је идеја коју ћу морати пратити...” – написао је Вегенер својој будућој жени, децембра 1910. године.

Alfred Lotar Wegener, немачки метеоролог и геофизичар, творац је теорије кретању континената.

Своју идеју од кретању континената први пут је јавно презентовао у јануару 1912. године.

Као коњички официр мобилисан је на почетку Првог светског рата али је након два рањавања отпуштен из војне службе. Године 1915. појављује се прво издање књиге “Порекло континената и океана”, које је остало незапажено ван Немачке. Следеће издање, 1920. године, изашло је на енглеском језику и закупило је велику пажњу. Међутим, све до краја 50их година 20. века, повећавао се само број његових противника.

Поклапање обалских линија континената уочили су и ранији истраживачи. У САД творцем теорије о кретању континената сматрају геолога Франка Тејлора (1910). Међутим, Вегенер је своје идеје поткрепио великим бројем доказа и учинио да она буде предмет бројних научних дискусија.

Поред очигледног уклапања обода континената С. Америке са Европом и Африком, као и Ј. Америке са Африком, изнео је и велики број геолошких и палеонтолошких доказа о некада јединственом континенту. Цепане овог суперконтинента, којег је назвао Пангеа (грч. “сва земља”) одвојили су се данашњи континенти који се и даље удаљују.

Највећи проблем је представљало непознавање механизма и разлога кретања. Вегенер је сматрао да се континенти крећу кроз Земљину кору, на сличан начин на који ледоломци пролазе кроз лед. Кретање је по њему последица центрифугалне силе и привлачне снаге Месеца и Сунца.

Противници су истicali непостојање трагова таквог кретања кроз кору, немогућност да контуре континената ипак остану препознатљиве и поред огромног трења, као и незамисливо снажне последице ротације и привлачења. Сам Вегенер је допринео неприхватању теорије погрешним прорачуном да се Северна Америка и Европа удаљују брзином од 250 цм годишње.

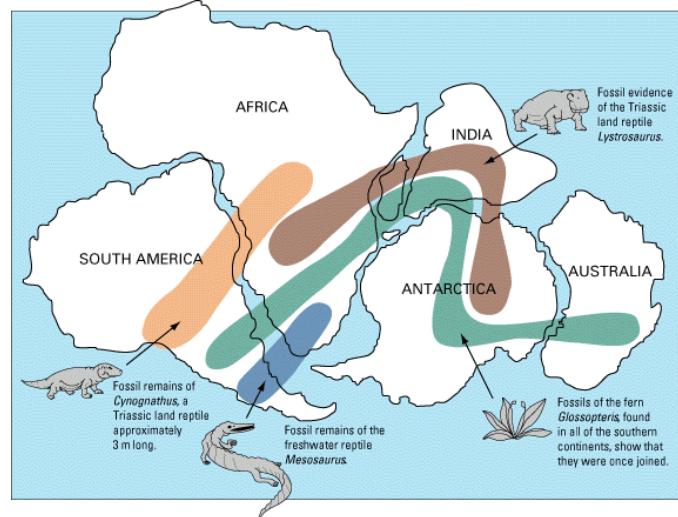


Алфред Вегенер (Wegener, 1880-1930)
Entstehung der Kontinente und Ozeane –
The Origin of Continents and Oceans (1912/1915/1920)

1590-их - холандски картограф Абрахам Ортелиус
1858 – географ Antonio Snider Pellegrini
1910. Frank B. Taylor

**ГЕОЛОШКИ ДОКАЗИ
+
ПАЛЕОНТОЛОШКИ ДОКАЗИ**

Hipparion – Флорида и Француска
преци тапира – Ј. Америка и ЈИ Азија
трилобити – Европа и Њуфаундлед
(само са једне стране!)
- Европа и СИ Пацифик



НЕПОЗНАТ РАЗЛОГ КРЕТАЊА...

Фосилни запис указује да су идентичне врсте копнених гмизаваца и неке врсте копнених биљака живе у исто време на данас, пространим океанским басенима, раздвојеним континентима.

Вегенерови противници су ове чињенице објашњавали постојањем природних мостова – острвских лукова који су у геолошкој прошлости повезивали континенте. Ови мостови су се у међувремену распали и њихови трагови стоје на дну океана.

Против апсолутних научних ауторитета тога времена није се могло борити осим детаљним противдоказима – а како је било могуће доказати да на дну неколико хиљада метара дубоким океанима нема таквих остатака?!

ПУТ ДО РЕШЕЊА МИСТЕРИЈЕ...

Истраживања морнарице САД – 1858. – “Middle Ground”

Артур Холмс (*Arthur Holmes*),
1929 - конвективна струјања

Принципи физичке геологије (1944)
- радиоактивна енергија



Балард (*Sir Edward Bullard*), 1965. - уклапање континената



Према тада важећој, геосинклиналној теорији, океански басени су древни – старији од континената. Пре томе, они су морали бити покривени дебелим слојевима седимената, као што је то случај са дном језера.

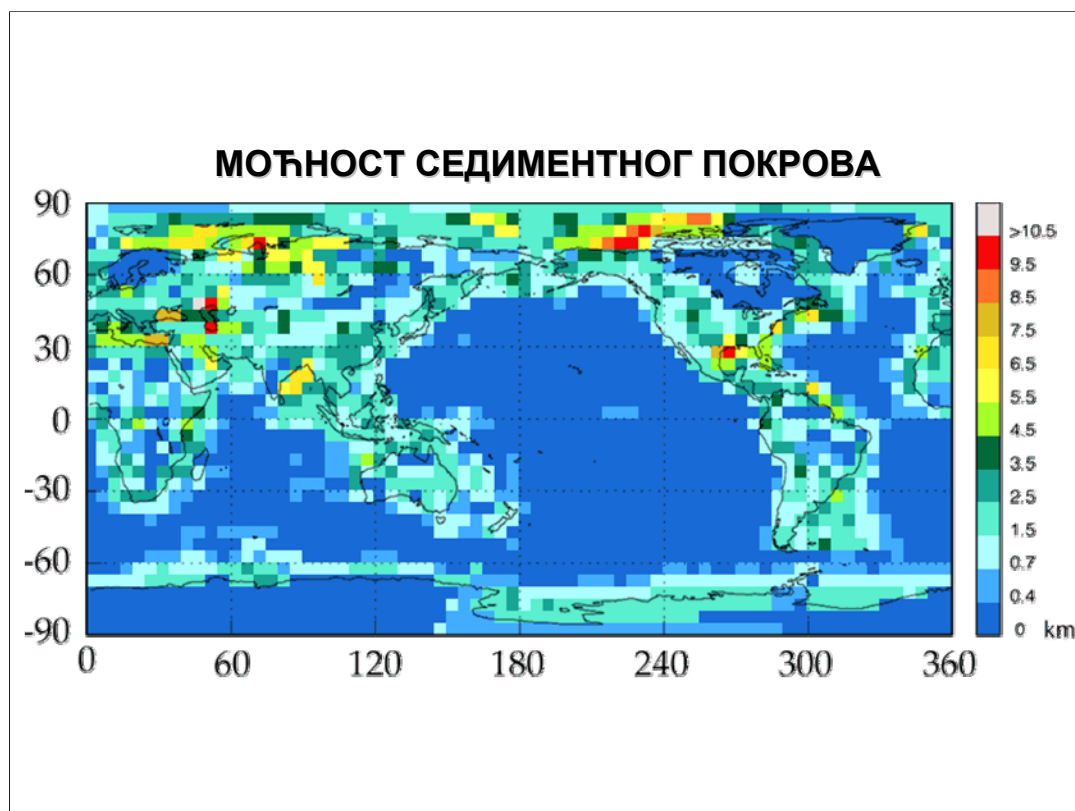
Прво запажање које се није уклапало са важећим теоријама резултат је истраживања морнарице САД половином 19. века. Мерењем дубина северног Атлантика је утврђено да се оне смањују управо на половини океанског басена. Ова узвисина названа је “Middle Ground”.

Минералог са пристонског универзитета, Хари Хес (Harry Hess) је током Другог светског рата служио на броду USS Cape Johnson, који је био снабдевен савременим сонаром – дубиномером. И поред стриктног задатка осматрања дубине око острва која су била предвиђена за искрцавање, Хес сматрао да уређај има и научну вредност и никада га није искључивао. Након читавања резултата, Хес је утврдио да морско дно ни најмање не представља уравњену равницу прекривену муљем, него да је рељеф дна исто онако динамичан као и рељеф на континентима!

Како је то могуће када су реке милијардама година у океанима таложиле материјал спран са копна?

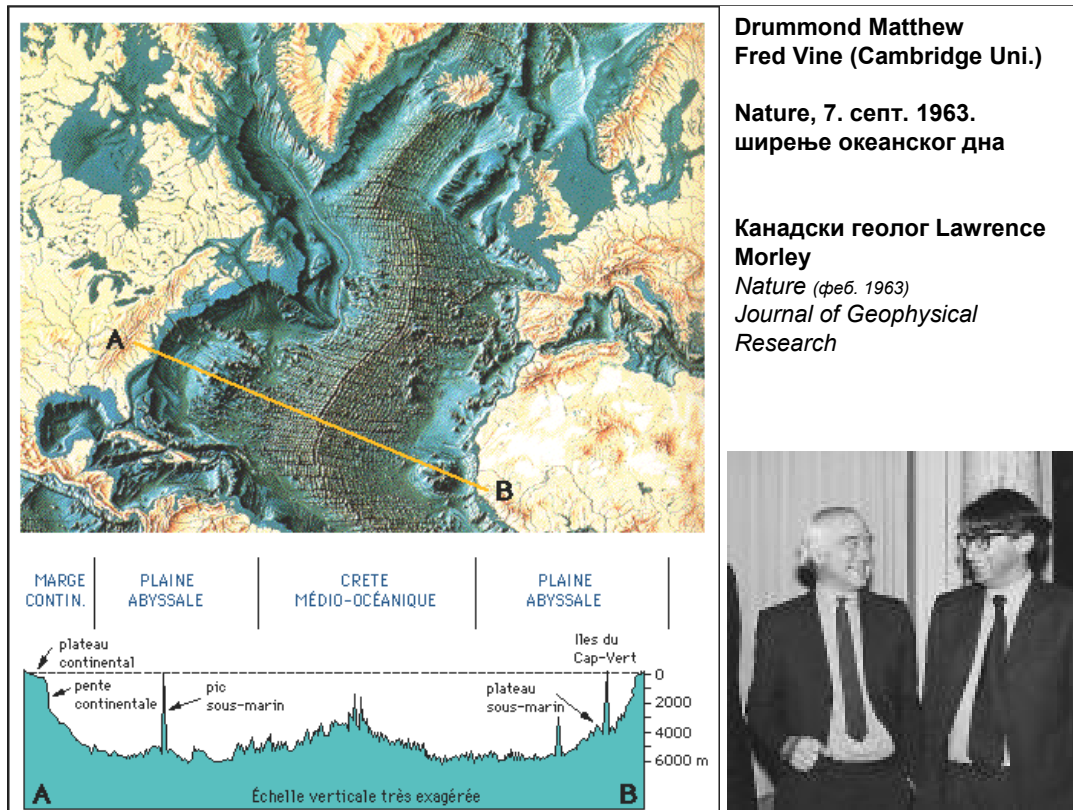
Након рата интензивирана су океанографска истраживања којим је утврђено да се по дну свих океана пружа непрекинут планински венац – најдужи планински систем на планети, дуг око 75.000 км.

Почетком 60их година 20. века узорци стена са океанског дна указивали су да је Средњеатлантски гребен веома млад и да се старост прогресивно повећава према истоку и запада од њега. Хари Хес је закључио да гребен представља осу стварања нове океанске коре и да океанско дно представља “покретну траку” која на себи носи континенте.



Упркос чињеници да реке милијардама година у океанским басенима таложе материјал спран са континената и да, према геосинклиналној теорији, огромне количине седимената узрокују набирања и стварање нових планинских венаца, приложена карта показује потпуно другачију ситуацију.

Дебљина седиментног слоја на дну океана не прелази 400 м, осим уз ободу континената где она достиже до 1500 м. Изузетак представљају ушћа највећих река: Мисисипија, Амазона, Ганга/Брамапутре, сибирских река...



**Drummond Matthew
Fred Vine (Cambridge Uni.)**

**Nature, 7. септ. 1963.
ширење океанског дна**

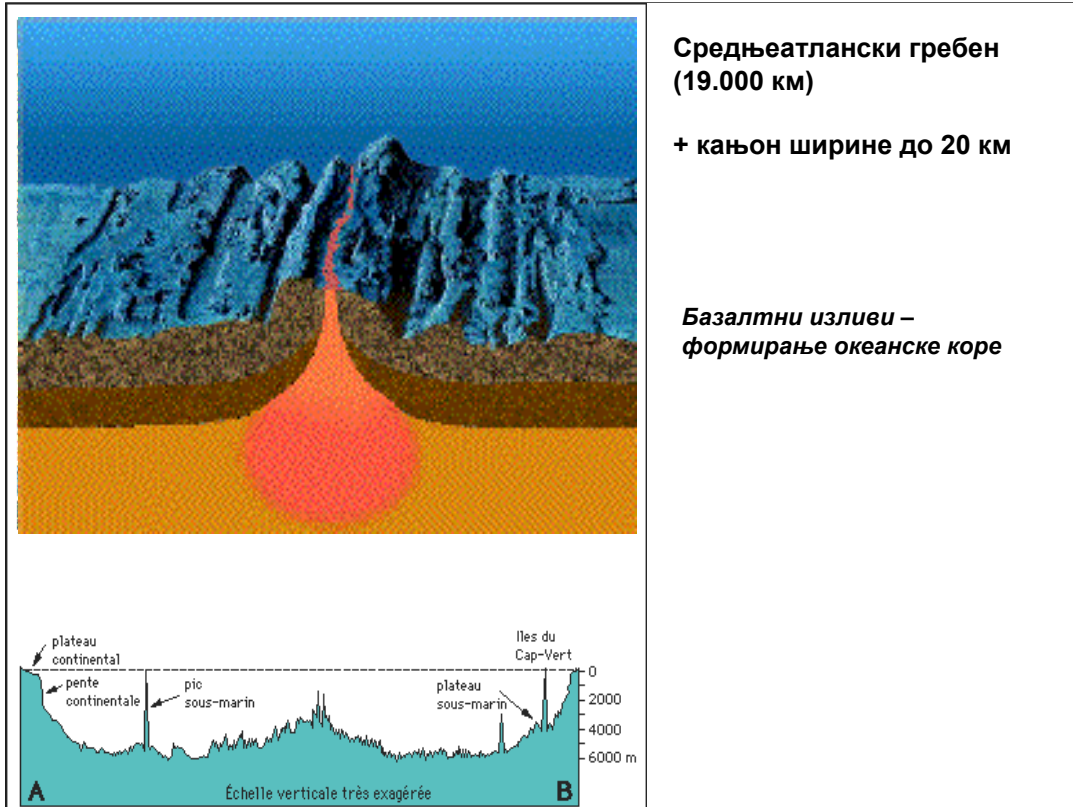
**Канадски геолог Lawrence
Morley**

Nature (феб. 1963)
*Journal of Geophysical
Research*

Геофизичар Drummond Matthews и његов дипломирани студент Fred Vine са Универзитета у Кембриџу, користећи магнетна истраживања, доказали су 1963. године (*Nature*, 7. септембар 1963) да се океанско дно шири управо на начин на који је Хес сугерисао.

Ово је био коначан доказ кретања континената и зачетак данас општеприхваћене теорије о тектоници плоча.

Нешто пре ове двојице истраживача, до истог закључка је дошао и канадски геолог Lawrence Morley. Своје резултате је покушао да објави у фебруару 1963. у *Нејчур* (*Nature*). Одбијен је са објашњењем да је број закључен и да нема места за још чланака. Потом је покушао и утицајном *Journal of Geophysical Research* али му је уредник саопштио да “*Таква нагађања могу бити предмет разговора на коктелима, али нису нешто што би се могло објавити у озбиљном научном часопису*”. Касније је тај манускрипт описан као “*вероватно најутицајнији научни рад икада који је одбијен за објављивање*”.



**Средњеатлански гребен
(19.000 км)**

+ кањон ширине до 20 км

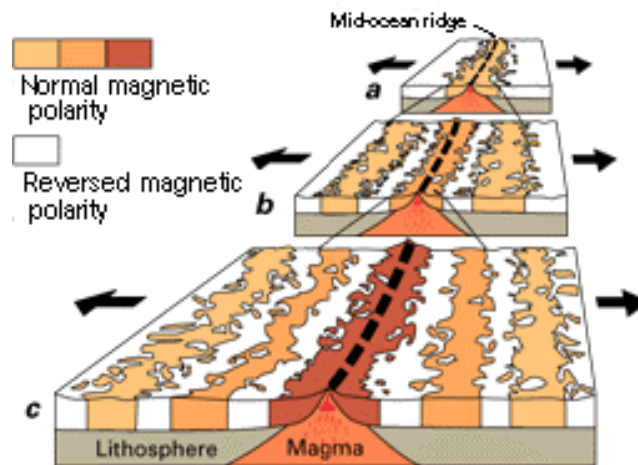
**Базалтни изливи –
формирање океанске коре**

Дуж осе океанских гребена, који представљају непрекинут планински ланац, на површину избија или се утискује лава, образујући најмлађе слојеве океанске коре. На овај начин се старији слојеви потискују даље од центара ширења (спрединга).

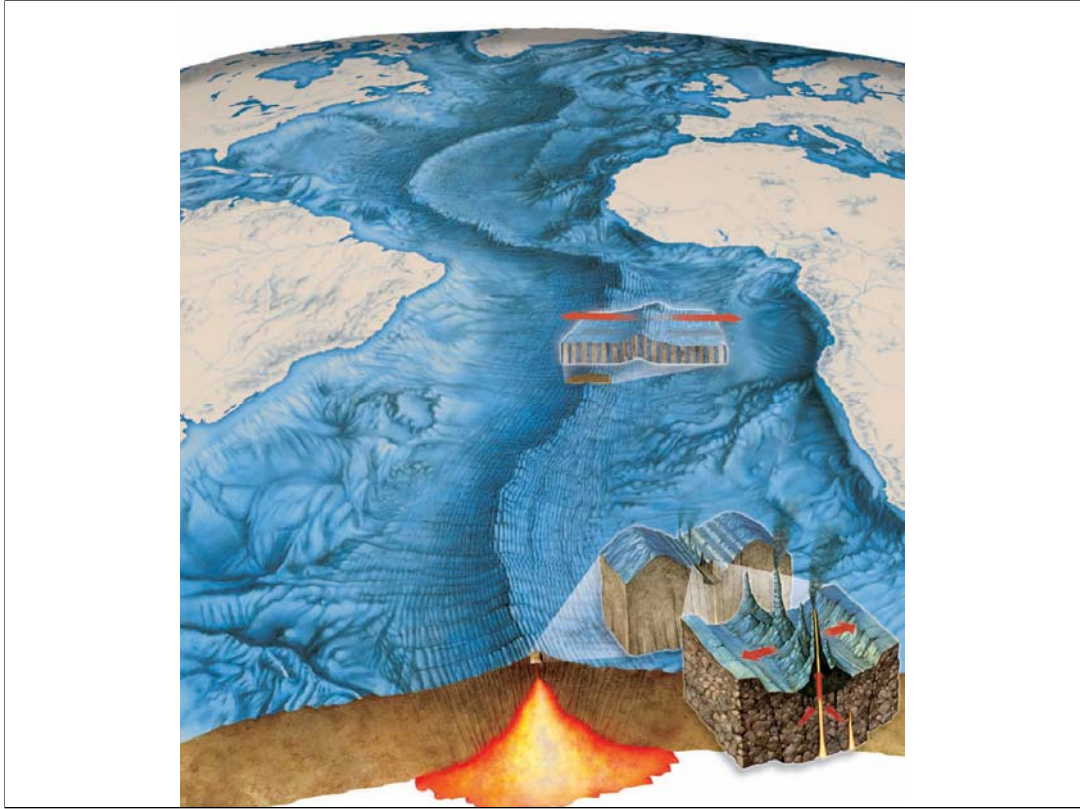
Ови планински венци имају знатну висину али веома благи пад и могу се представити као низ штитастих вулкана (тзв. Хавајски тип вулкана).

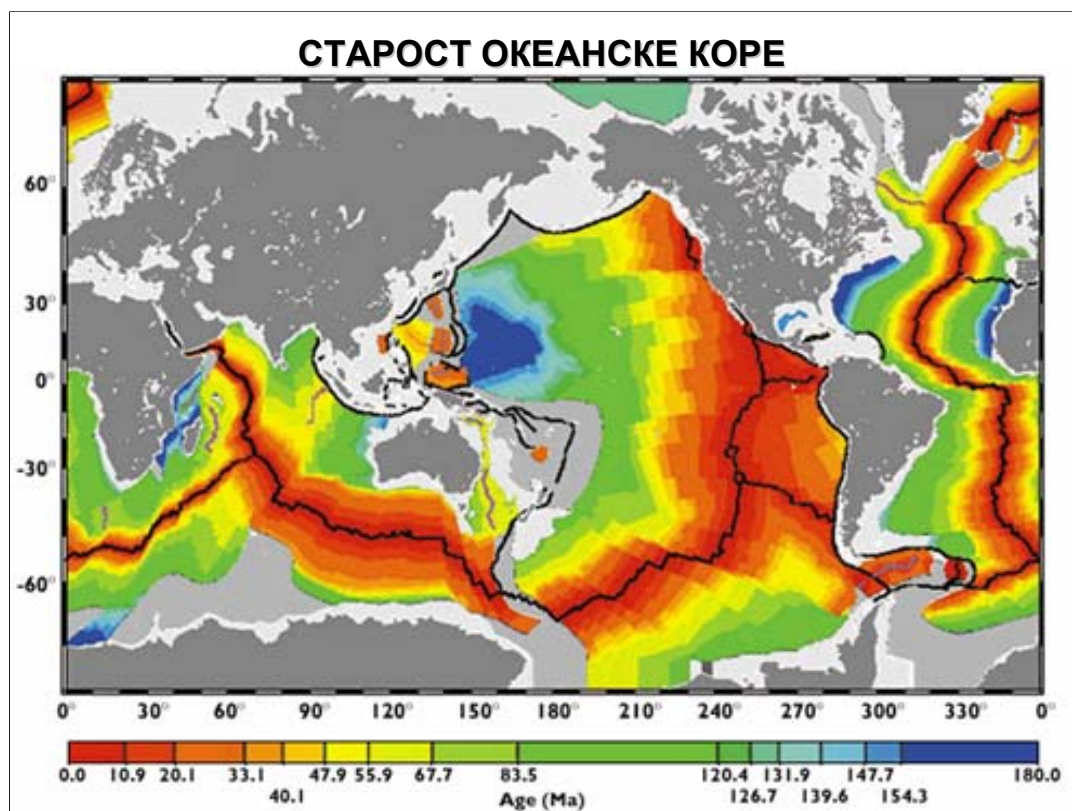
Француски физичар Бринес (*Bernard Bruhnes*), 1906 – реверсни поларитет

СТВАРАЊЕ ОКЕАНСКЕ КОРЕ



Морли (*Lawrence Morley*) – *Journal of Geophysical Research*



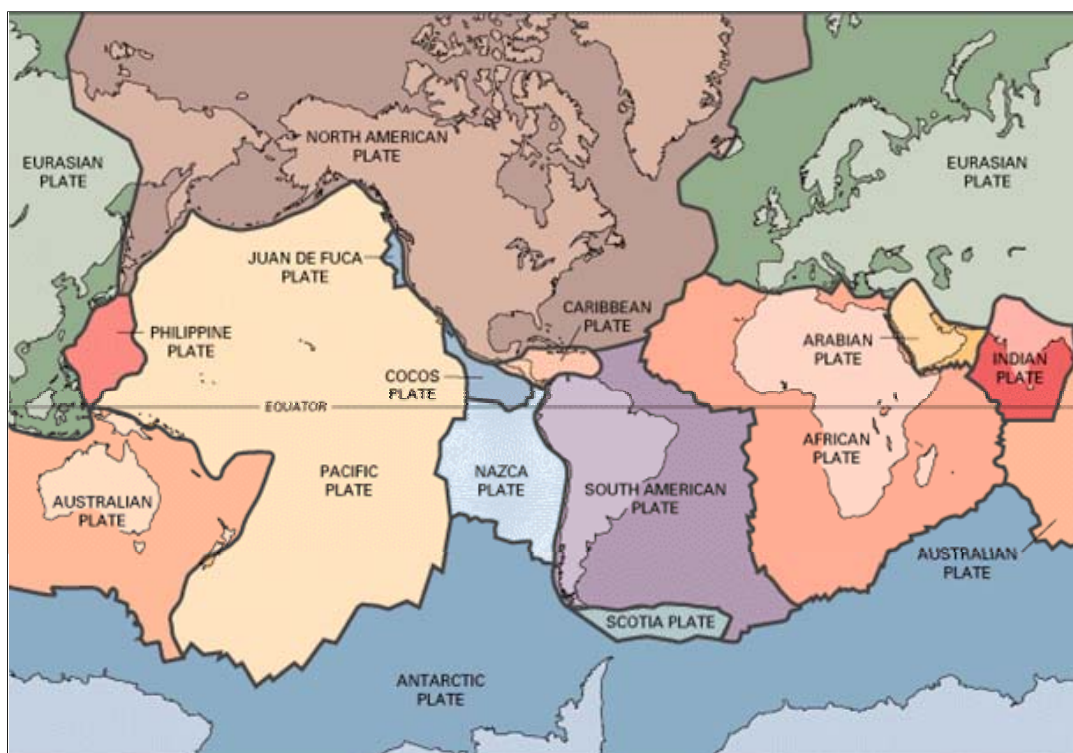


На карти је приказана старост океанске коре (без седиментног слоја!).

Црне линије представљају океанске гребене дуж којих настаје океанска кора.

Нијансама црвене и жуте боје приказана је кора формирана током кенозоика, зелене током креде, а плаве од завршетка ране јуре (старост у милионима година).

Пример: Плава боја на источној обали С. Америке и западној обали Северне Африке указује на време распадања Пангее и почетак формирања басена Атлантског океана.



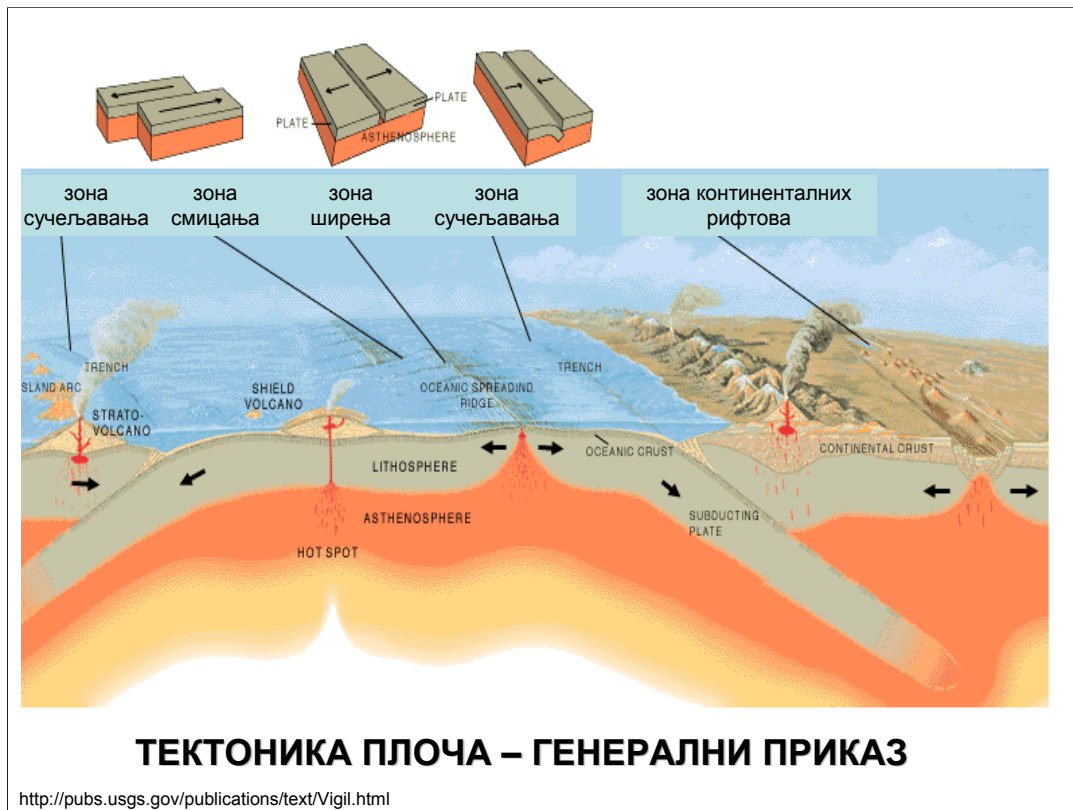
<http://pubs.usgs.gov/publications/text/historical.html>

ГЛАВНЕ ТЕКТОНСКЕ ПЛОЧЕ

Литосфера је подељена на 15 већих плоча које су у покрету.

Границе плоча се не подударају са границама континената. Скоро све плоче су састављене и од литосфере океанског и од коре континенталног типа. Због тога се могу издвојити делови *океанске* и *континенталне литосфере*.

Континетни се не крећу – крећу се плоче.



Генерални приказ типова кретања плоча

- 1) Покрети у зони ширења (спрединга, дивергенције)
- 2) Покрети смицања (трансформни покрети)
- 3) Покрети у зони сучељавања (конвергенције)
- 4) Покрети у зони континенталних рифтова (ророва)



Процес настанка нове коре је објашњен у претходним слајдовима.

Једино место на којем океански гребен излази изнад површине океана је Исланд (види под “Вруће тачке”).

У геотектонском смислу, источни део Исланда припада Евроазијској плочи, а западни Северноамеричкој плочи. Ове две плоче се удаљују, а линија дуж које се магма утискује/лава избија на површину се лако уочава на основу пружања вулкана (карта) и постојања кањона (слика).



Две плоче литосфере могу пролазити једна поред друге/једна низ другу.
 Најбољи пример је расед Сан Андреас у Калифорнији.

Услед оваквог померања, ток који је приказан на аероснимку је из праволинијског правца пружања, лактасто скренуо.



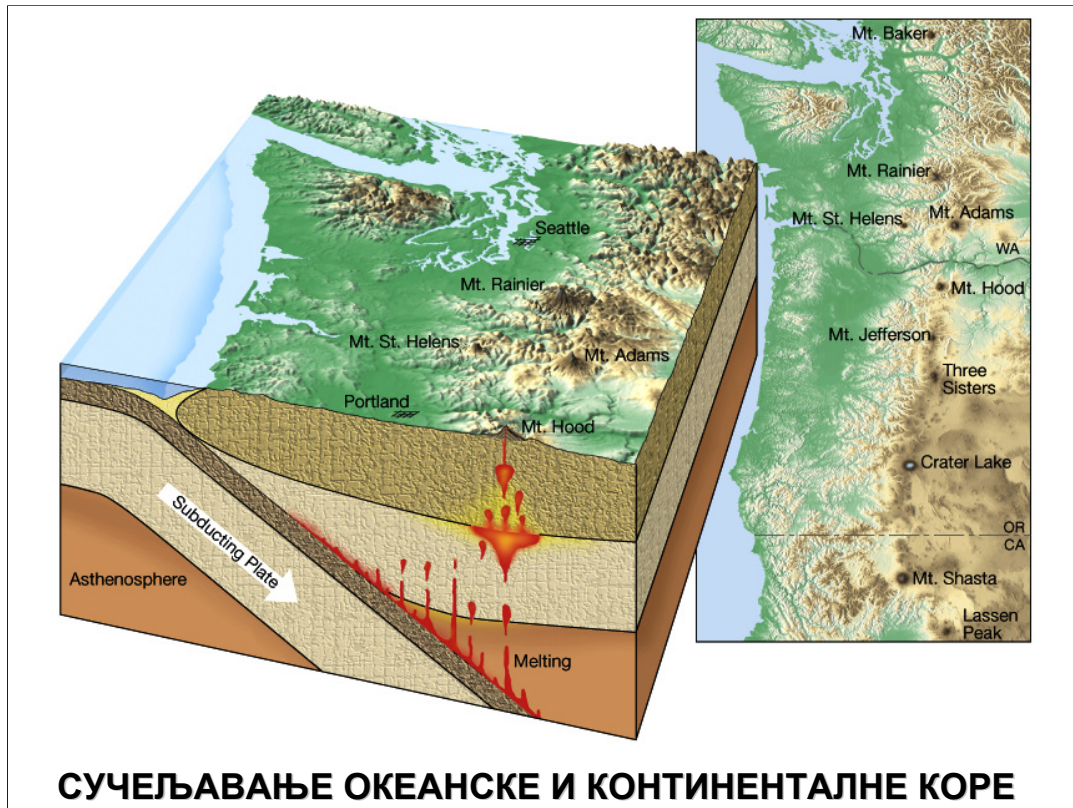
Приликом сучељавања плоча од којих је једна представљена литосфером океанског, а друга литосфером континенталног типа. Гушћа океанска тоне испод континенталне литосфере која се издиже.

На линији тоњења ствара се подморски ров (пример: Перу-Чиле ров - *Атакама ров*, западна обала Ј. Америке).

Изнад зоне у којој се тонућа плоча топи, стварају се низови континенталних вулкана (пример: Анди).

Стене у кори која тоне су засићене водом – снижавање температуре топљења.





Каскадне планине западне обале Северне Америке – од севера Калифорније до југа Британске Колумбије – пример тоњења океанске литосфере испод континента и стварања низова вулкана. На карти су приказане вулканске купе.

Пример: вулкан Света Хелена



Приликом сучељавања две плоче океанског типа, на линији дуж које једна плоча тоне испод друге, јавља се *подморски ров* (пример: Маријански ров). Изнад зоне у којој се тонућа плоча топи, формирају се низови вулкана (острвски лукови).



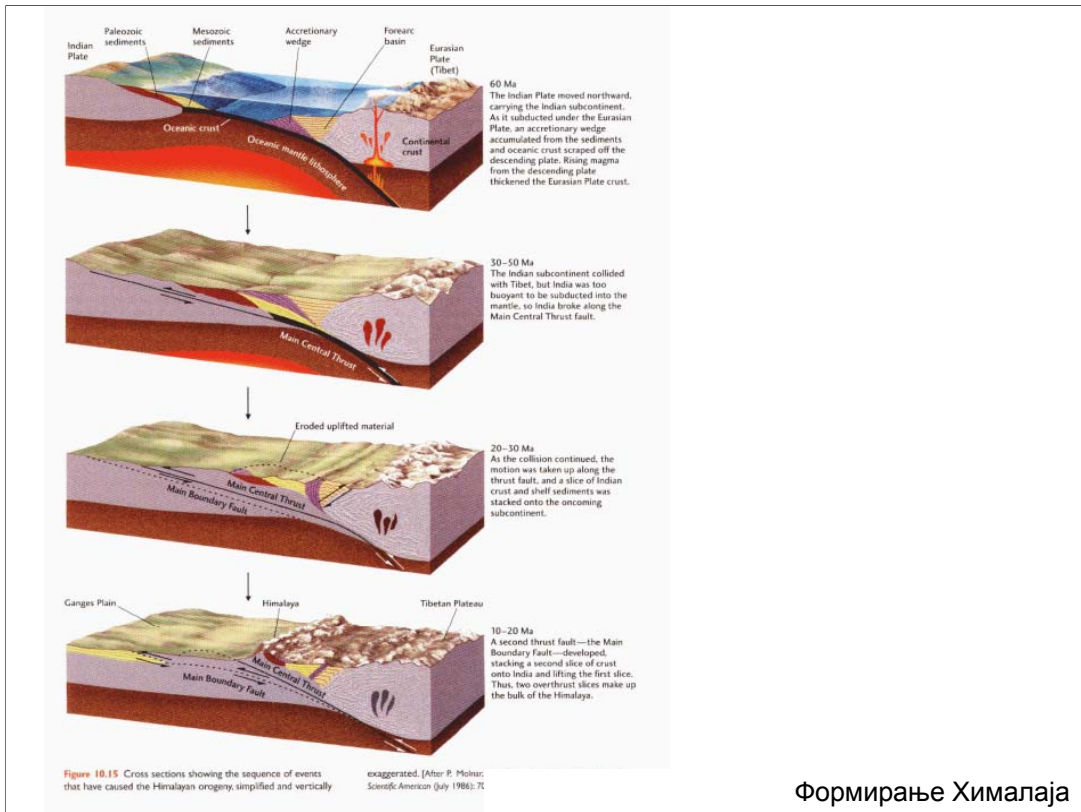


Приликом сучељавања плоча континенталног типа, због истоветних густина, не долази до субдукције (због тога је ово зона без вулканизма) него до скраћивања и снажног издизања у зони сучељавања.

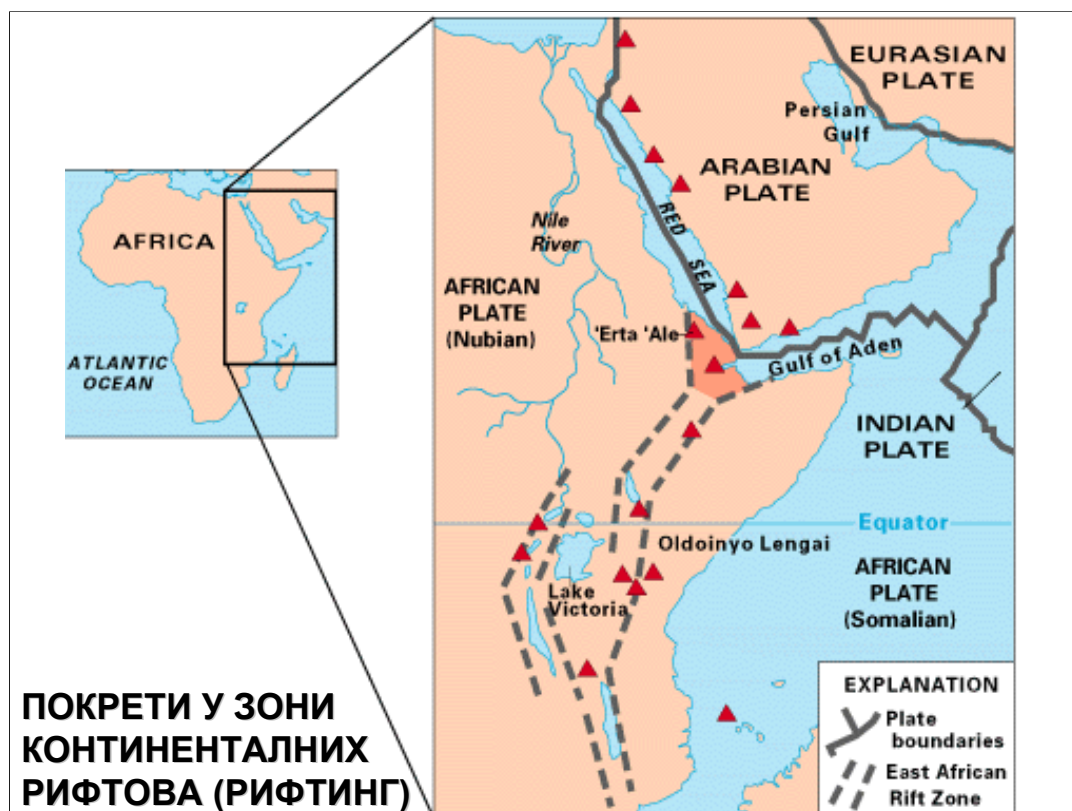
Пример: сучељавање Индијске и Евроазијске плоче и последично издизање Хималаја.



Генерализовани приказ динамике кретања Индијске плоче. Сучељавање ових плоча прошло је кроз фазе: океанска-океанска кора; океанска-континентална; и последња – континентална-континентална кора.



Формирање Хималаја



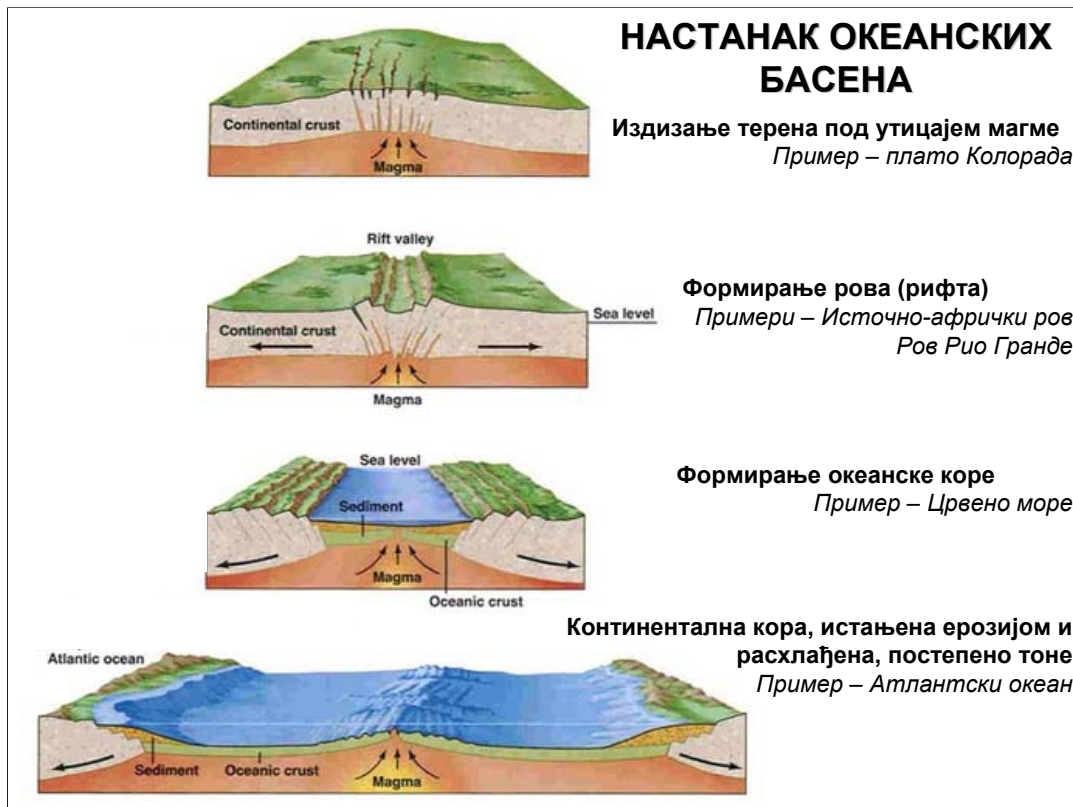
Стварање континенталних рифтова (ровова) је веома значајно за разумевање стварања граница између литосферних плоча.

Најбољи пример је Велики (Источноафрички) ров.

Он почиње од депресије/пустиње Афар и пружа се на југ у две одвојене гране. Рифтинг је праћен појавом вулканизма и земљотресима. Вулкани Источне Африке су настали у овој зони, а басени пространих језера су тектонског порекла.

За разлику од претходног схватања, када је пружање Великог рова описивано од Мртног и дуж Црвеног мора, на карти се уочава да ова линија представља границу између плоча.

Процес рифтинга је описан на следећем слајду.

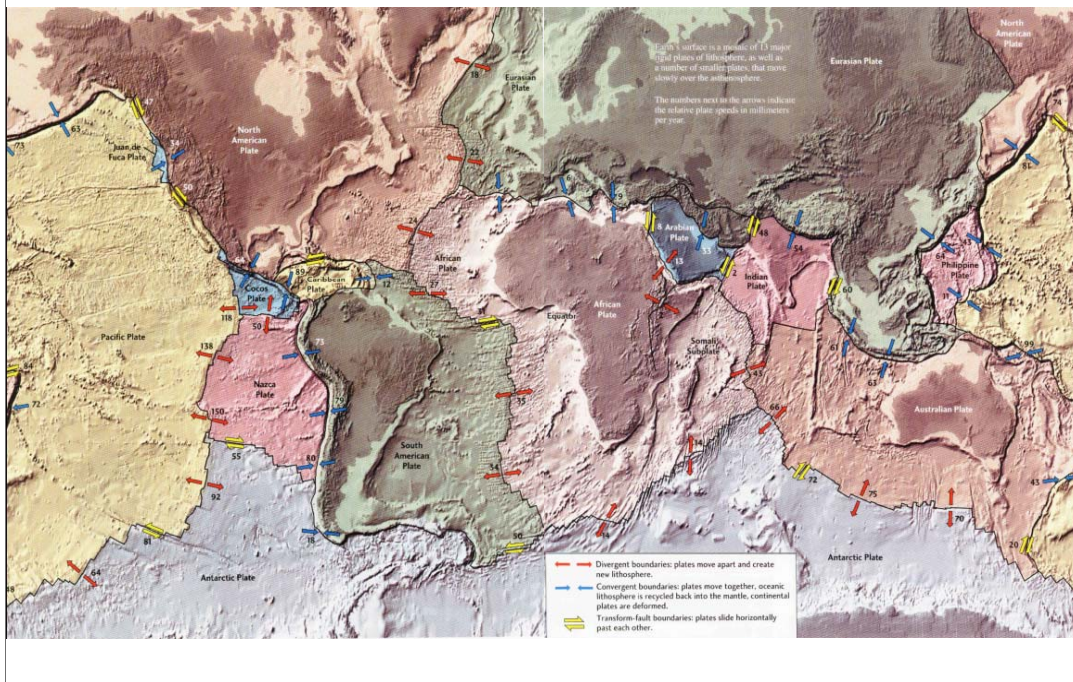


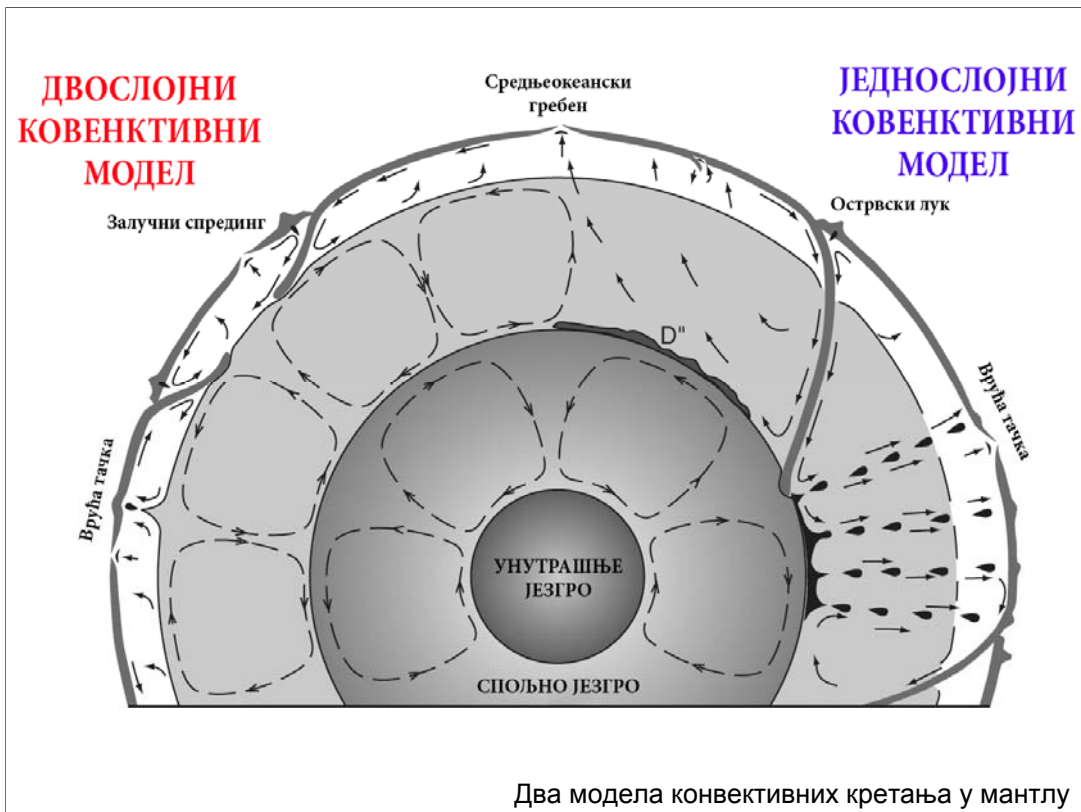
Процес стварања нових граница између плоча, односно нових океанских басена се одвија у следећим фазама:

1. Прегрејана магма тражи пут до површине Земље при чему долази до издизања и засвођавања коре (континент се понаша као изолатор испод којег се акумулира топлотна енергија)
2. Топљењем се кора истањује, губи ослонац и долази до раседања и формирања рова. Вулкани се јављају на површини.
3. У тренутку када је континентална кора потпуно растопљена и када се почне стварати нова базалтна кора, граница између плоча/заметак океанског басена је створен.
4. Наставком овог процеса океански басен се проширује.

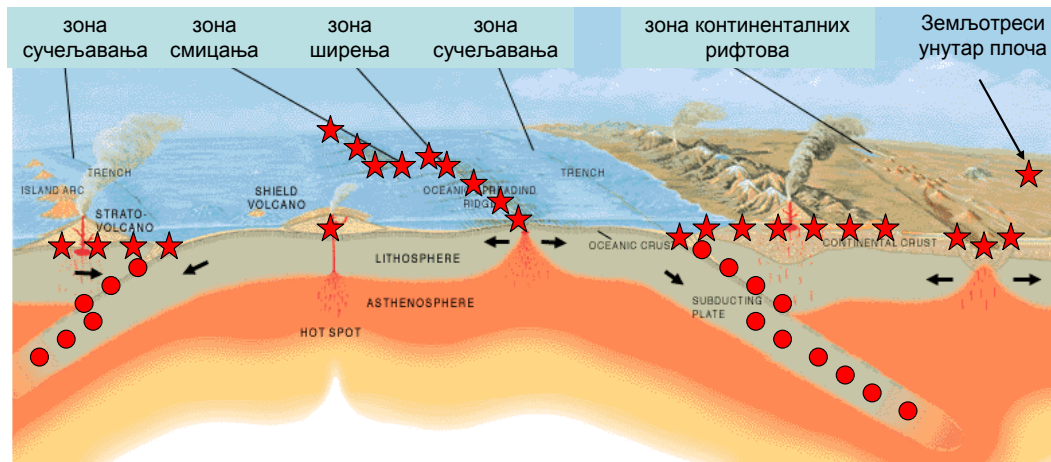
БРЗИНА И ПРАВЦИ КРЕТАЊА ТЕКТОНСКИХ ПЛОЧА

mm/годишње





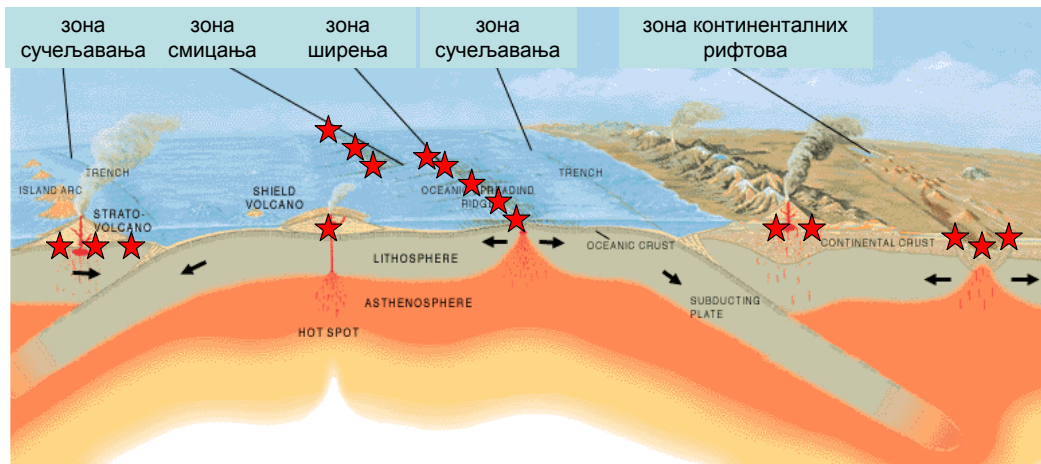
ЖАРИШТА ЗЕМЉОТРЕСА



- ★ Жаришта на малој дубини
- Средњеокеански гребени, рифтови, зоне смицања (трансформни разломи), вулканске области
- Жаришта на великој дубини
- Зоне субдукције

<http://pubs.usgs.gov/publications/text/Vigil.html>

ПОЈАВА ВУЛКАНИЗМА

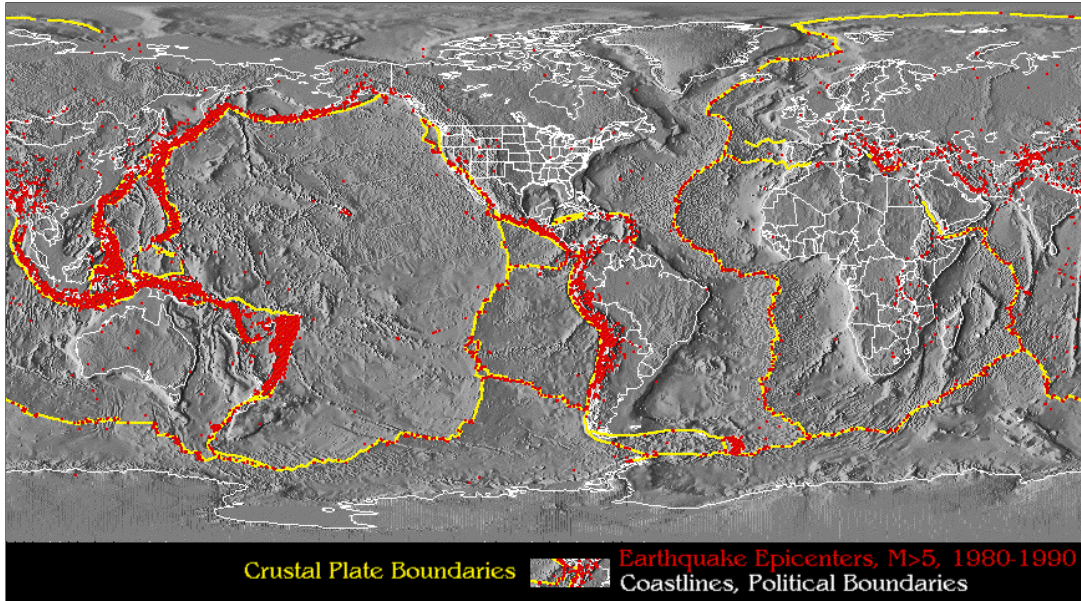


★ Вулканизам

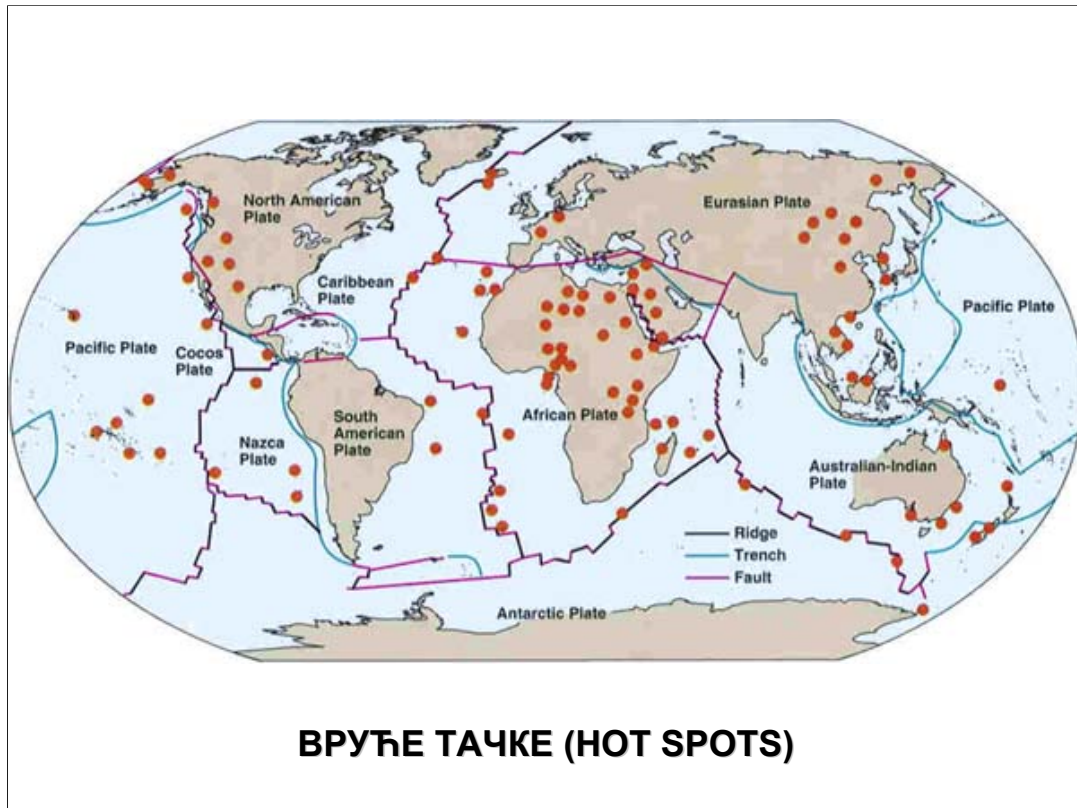
Без вулканизма

- на месту сучељавања континенталних кора
- зоне смицања (трансформни разломи)

<http://pubs.usgs.gov/publications/text/Vigil.html>



**ЕПИЦЕНТРИ ЗЕМЉОТРЕСА ЈАЧИХ ОД 5 СТЕПЕНИ
РИХТЕРОВЕ СКАЛЕ ИЗМЕЂУ 1980. И 1990. ГОДИНЕ**



Један број вулкана се не може објаснити субдукцијом. У питању су тзв. “вруће тачке”.

Њихова појава је везана за избијање магме из дубљих спољног мантла. Најмање две вруће тачке имају извориште на граници мантл/језгро.

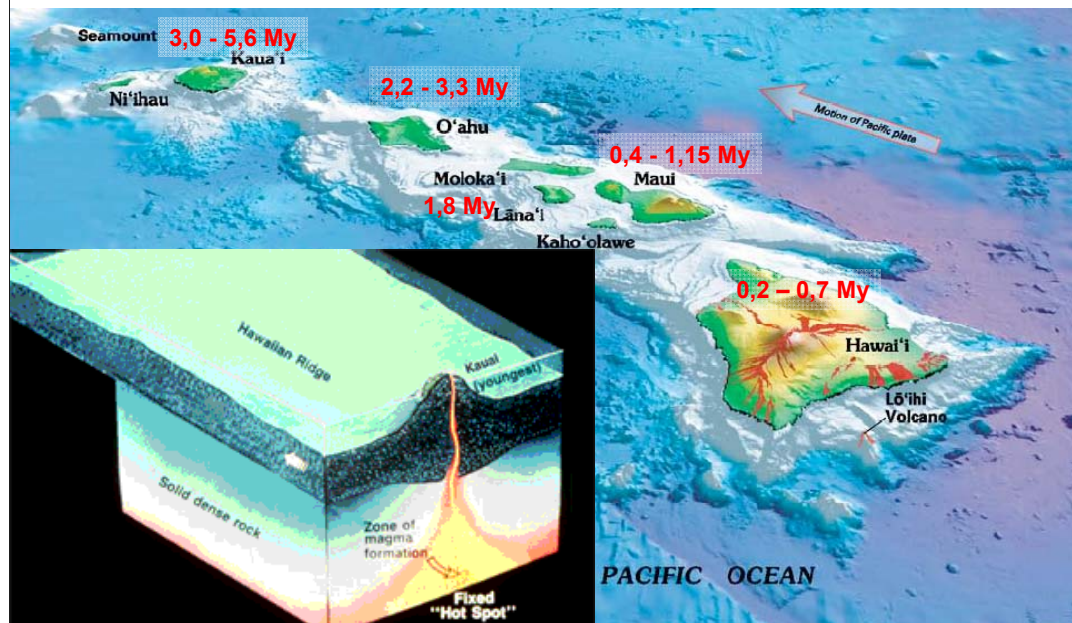
Ове тачке су у геолошком времену релативно статичне.

Хемизам базалтне лаве која избија на врућим тачкама разликује се од базалтне лаве настале у зони субдукције.

Исланд је формиран на Средњеатлантском гробу али као последица постојања вруће тачке испод гробу.

Хавајска, Канарска, Азорска острва, Галапагос, Самоа, Јелустон...

ВРУЋЕ ТАЧКЕ И НАСТАЈАЊЕ ОСТРВА



Објашњење формирања острвских низова изнад вруће тачке:

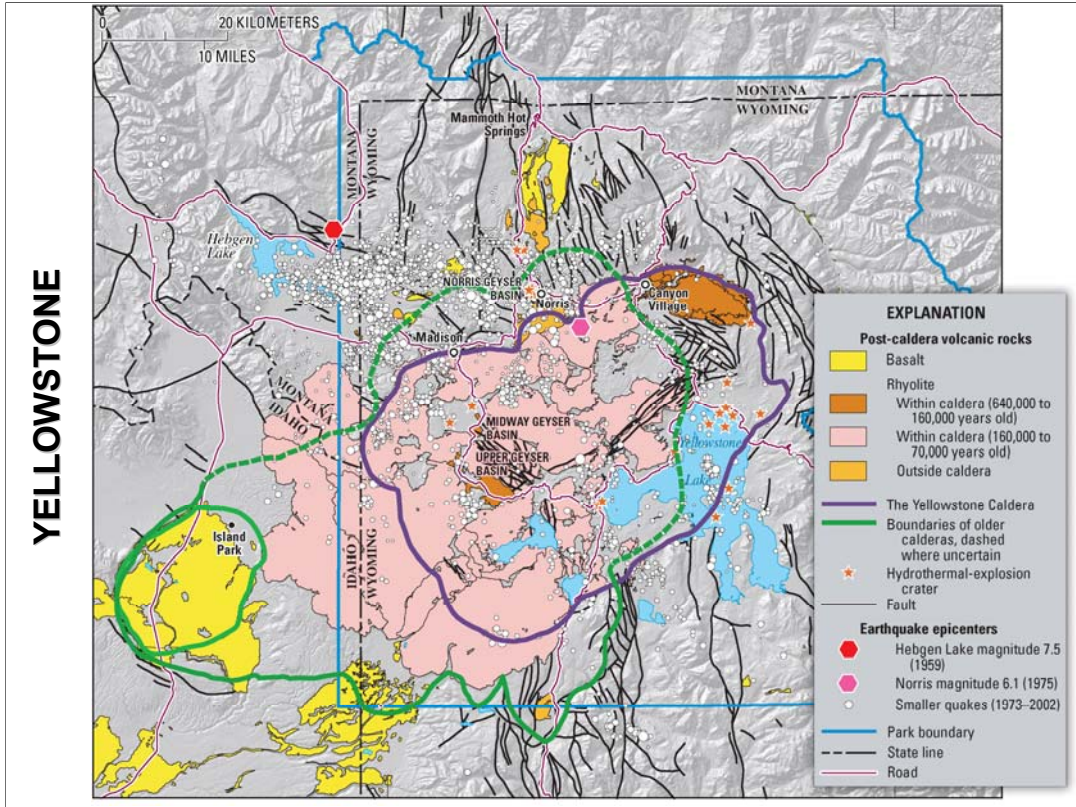
Непокретна врућа тачка избацију лаву на површину литосферне плоче у покрету.

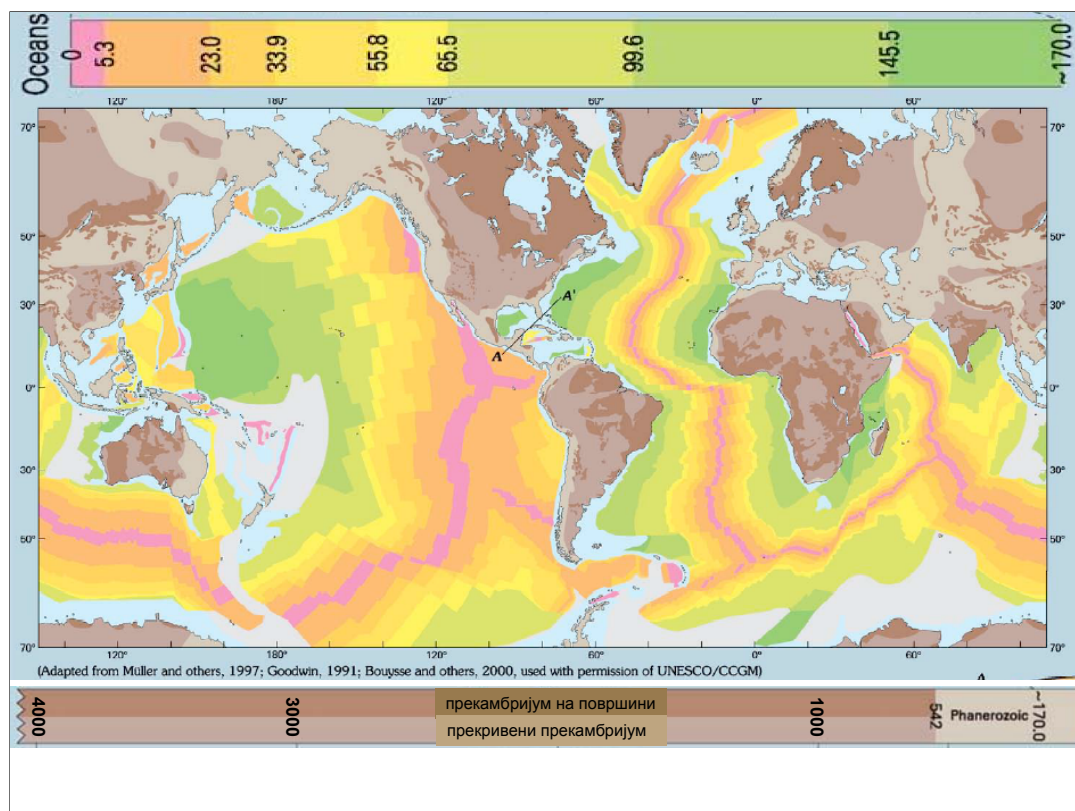
У зависности од брзине кретања плоче и количине избачене лаве, формирају се подморске (вулканске) купе или вулканска острва.

Правац пружања острвских низова указује на правце и смер кретања плоче.

У хавајском низу, од вруће тачке најудаљеније острво је уједно и најстарије.

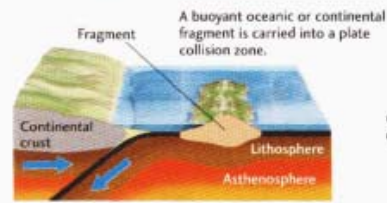
YELLOWSTONE





Еволуција континента

1 ACCRETION OF A BUOYANT FRAGMENT TO A CONTINENT



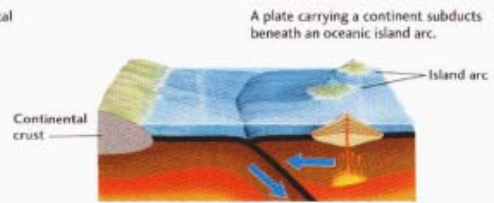
The fragment is more buoyant than the subducting lithosphere and is not subducted.



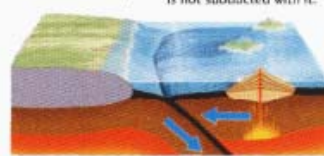
The fragment becomes welded to the overriding plate.



2 ACCRETION OF AN ISLAND ARC TO A CONTINENT



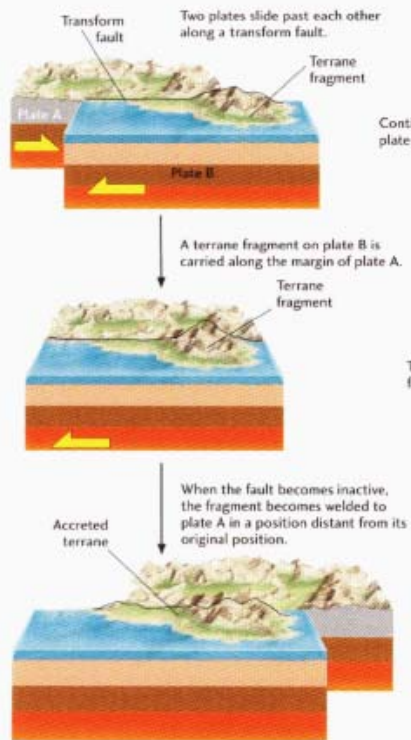
The continental crust is more buoyant than the subducting lithosphere and is not subducted with it.



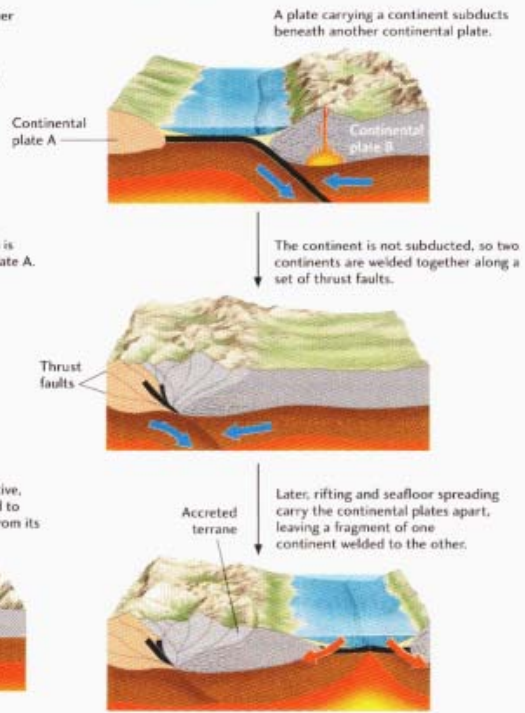
The island arc crust becomes welded to the continent.



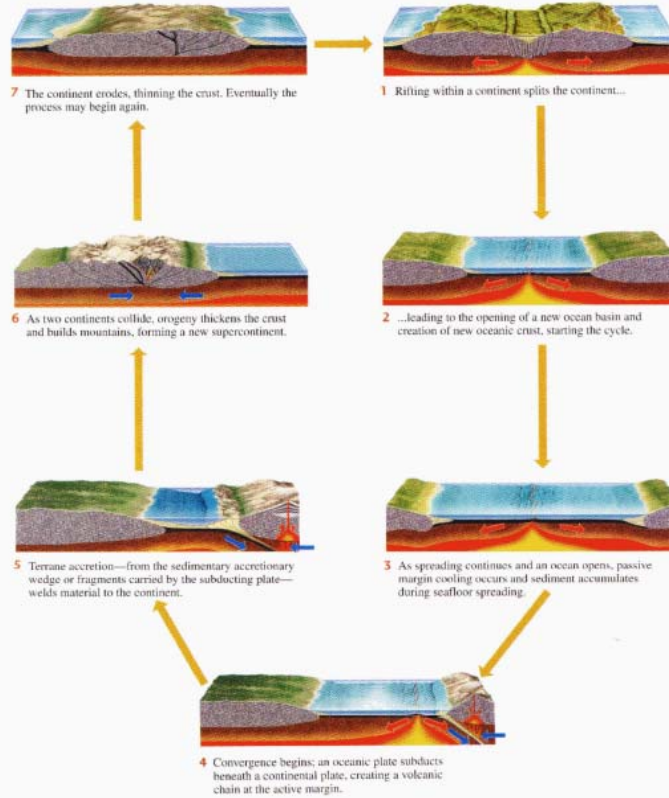
3 ACCRETION ALONG A TRANSFORM FAULT



4 ACCRETION BY CONTINENTAL COLLISION AND RIFTING



**ВИЛСОНОВ
ЦИКЛУС
500 My**





Универзитет у Новом Саду
Природно-математички факултет
Департман за географију, туризам и хотелијерство

Мр Млађен Јовановић

Катедра за Физичку географију



ТЕКТОНИКА ПЛОЧА