

PETROLOGIJA

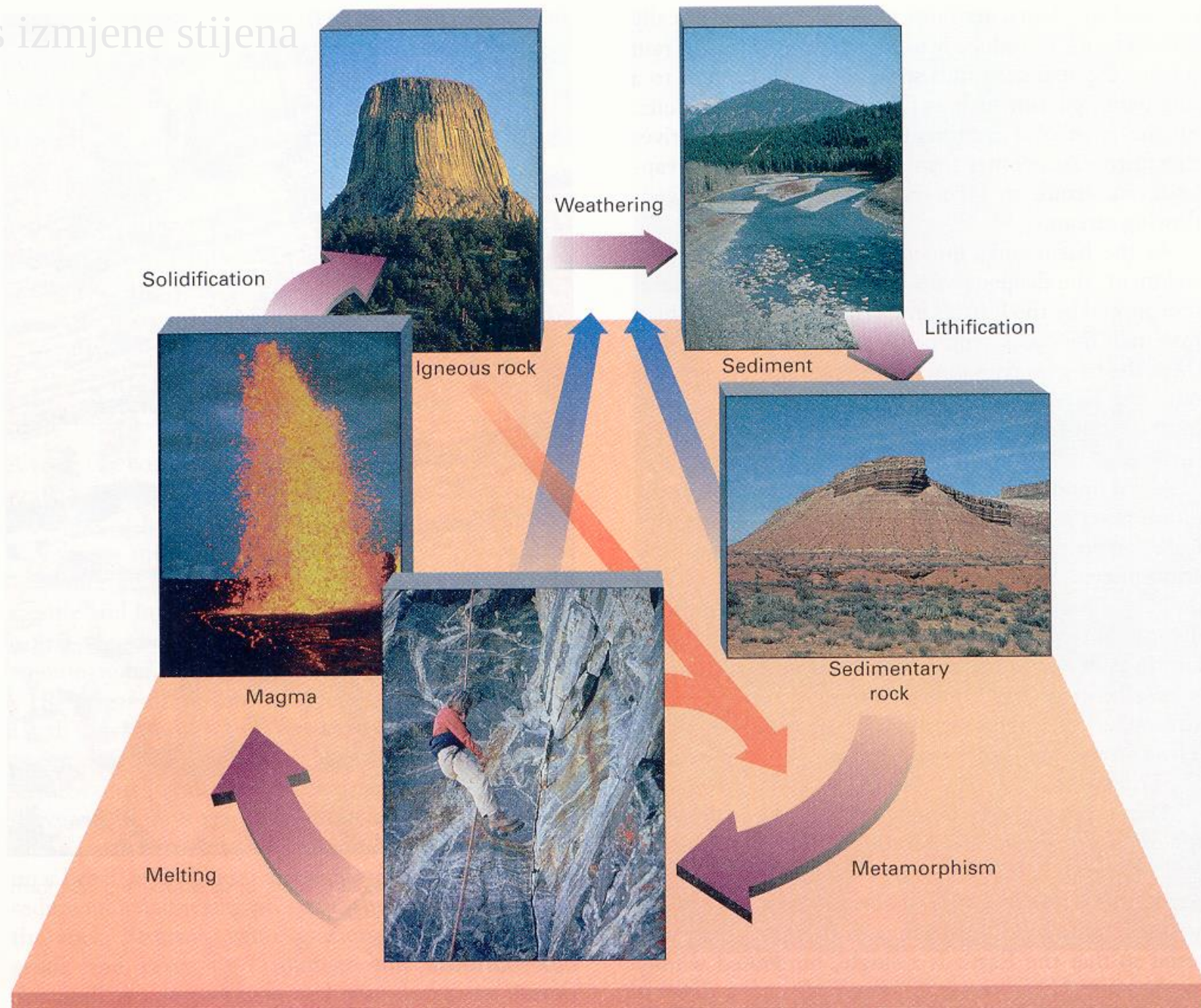
(Grana geologije koja se bavi postankom, pojavljivanjem, strukturom, sastavom i porijeklom stijena)

MAGMATSKA STIJENA- nastaje kristalizacijom ili skrutnjavanjem visokotemperaturne silikatne taljevine-magme.

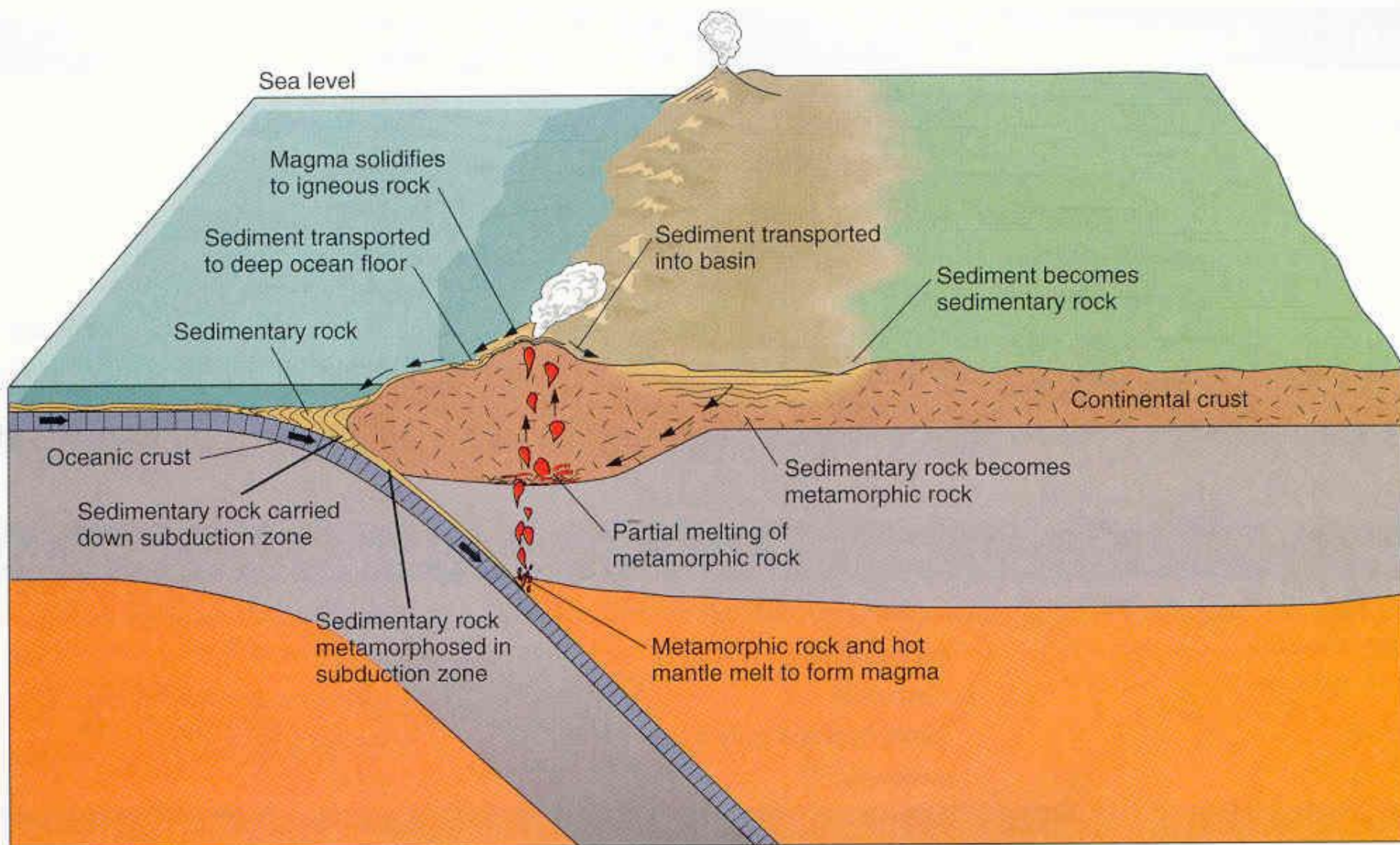
SEDIMENT (SEDIMENTNA STIJENA)- akumulacija čvrstog materijala nastala na površini ili pri samoj površini Zemlje određenim geološkim, fizikalnim, kemijskim i biološkim procesima.

METAMORFNA STIJENA- nastaje ispod površine Zemlje metamorfozom (preobrazbom) teksture, strukture, mineralnog i kemijskog sastava ranije nastalih stijena magmatskog, sedimentnog ili metamorfnog postanka.

Ciklus izmjene stijena



Ciklus izmjene stijena - primjer konvergentne granice tektonskih ploča



Magmatske stijene

Magmatske stijene je bilo koja kristalizirana ili staklasta stijena koja nastaje hlađenjem magme. Magma zapravo predstavlja rastaljeni stijenski materijal, koji može sadržavati i kristale različitih minerala, te plinovitu fazu, koja pak može biti otopljena u taljevini ili odvojena kao posebna faza. Magma se može hladiti i time formirati magmatske stijene, na površini Zemlje – u tom slučaju nastaju efuzivne magmatske stijene, ili ispod površine Zemlje – gdje nastaju intruzivne magmatske stijene.

Karakteristike magme

Tipovi magme - tipovi magme determinirani su njezinim kemijskim sastavom. Razlikuju se tri glavna tipa magme:

- Bazaltna magma – SiO_2 45-55%, visok udio Fe, Mg, Ca, nizak udio K, Na
- Andezitska magma – SiO_2 55-65%, srednji udio Fe, Mg, Ca, K, Na u sastavu
- Riolitska magma – SiO_2 65-75%, nizak udio Fe, Mg, Ca visok udio K, Na

Plinovita faza u magmi (uglavnom H_2O , u obliku vodene pare, s nešto CO_2 , manje količine plinova sumpora, klora i fluora) - na većim dubinama, u unutrašnjosti Zemlje plinovi su otopljeni u magmi, ali kada se magma uzdiže prema površini, odnosno kada dođe u područje nižeg tlaka, plinovi se izdvajaju iz magme kao zasebna faza. To se može možda najbolje objasniti na primjeru gaziranih pića, koja su punjena pod visokim tlakom. Visoki tlak drži plin u otopljenom stanju u tekućini, ali kada se tlak smanji, npr. kada otvorimo bocu, plin izlazi iz otopine i formira zasebnu plinovitu fazu koju vidimo kao mjehuriće. Plinovita faza daje magmi eksplozivni karakter, zbog toga što se volumen plina povećava kako se tlak smanjuje. Riolitske magme obično imaju veći udio plinovite faze od bazaltnih.

Karakteristike magme

Temperatura magmi – laboratorijska mjerenja i određena ograničena terenska ispitivanja pokazali su da je temperatura erupcije magmi slijedeća:

- Bazaltna magma – 1000 – 1200 °C
- Andezitska magma – 800 – 1000 °C
- Riolitska magma - 650 – 800 °C

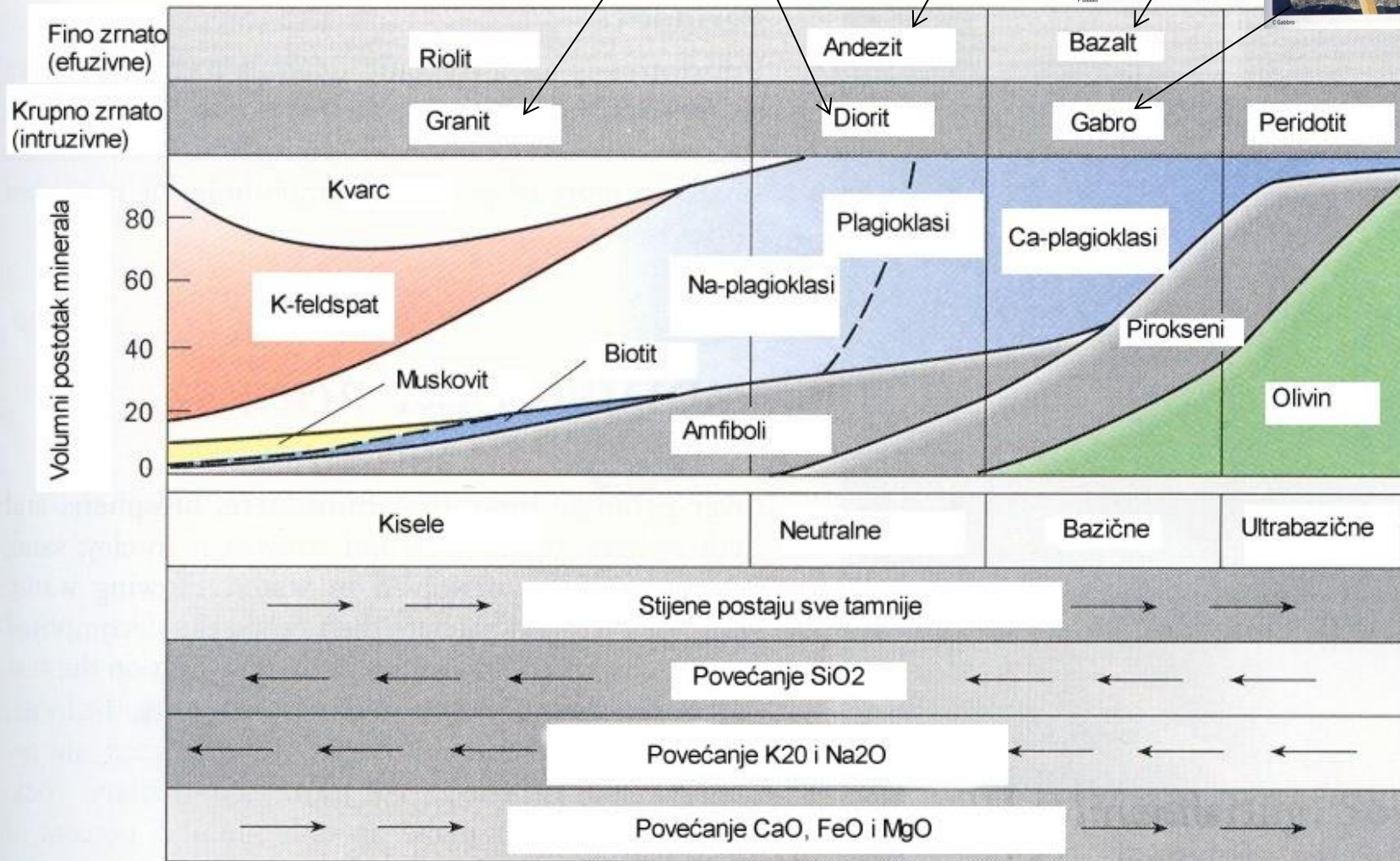
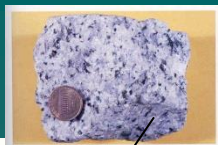
Viskozitet nagmi – viskozitet je otpor tečenju (suprotno od fluiditeta). Viskozitet primarno ovisi o sastavu magme i njenoj temperaturi:

- Magma s višim sadržajem SiO_2 u svom sastavu imaju veći viskozitet od onih s nižim sadržajem SiO_2 (viskozitet raste s porastom udjela SiO_2 u magmi)
- Nižetemperaturne magme imaju viši viskozitet od višetemperaturnih

Treba napomenuti da i čvrsta materija, konkretno stijene, imaju viskozitet, koji je, naravno, vrlo velik, milijarde puta veći od viskoziteta vode. Viskozitet je vrlo važno svojstvo magme koje određuje karakter erupcija.

Tip magme	Stijena	Kemijski sastav	Temp. (°C)	Viskozitet (PaS)	Sadržaj plinova
bazaltna	bazalt	SiO_2 45-55%, visok udio Fe, Mg, Ca, nizak udio K, Na	1000-1200	$10-10^3$	nizak
andezitska	andezit	SiO_2 55-65%, srednji udio Fe, Mg, Ca, K, Na	800-1000	10^3-10^5	srednji
riolitska	riolit	SiO_2 65-75%, nizak udio Fe, Mg, Ca visok udio K, Na	650 - 800	10^5-10^9	visok

Klasifikacija magmatskih stijena





A Granite



D Rhyolite (Riolit)



B Diorite (Diorit)



E Andesite (porphyritic) (Andezit)



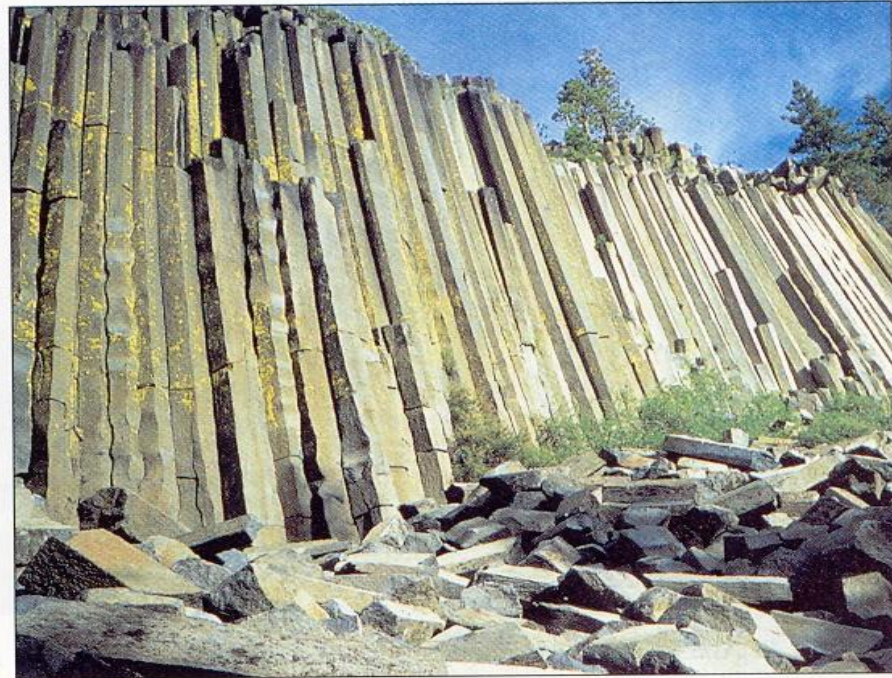
C Gabbro (Gabbro)



F Basalt (Bazalt)

Lučenje

Eruptivne stijene ne pokazuju slojevitost ni škriljavost. One su kompaktne, masivne. Ipak se u njima mogu pojaviti neke pukotine koje tada izdvajaju blokove različitog oblika i veličine. Često takve pukotine teku međusobno manje-više okomito, te mogu nastajati i pravilno izlučeni blokovi. To zovemo lučenje. Ono je uglavnom posljedica hlađenja eruptiva, prilikom kojeg dolazi do stezanja i pravilnog pucanja stijene. Pločasto lučenje razvijeno je najčešće u granitu, stubasto ili prizmatско lučenje u bazaltima (ovaj slajd).



A



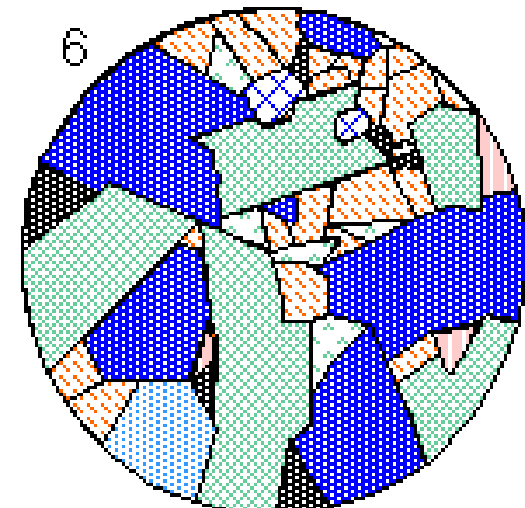
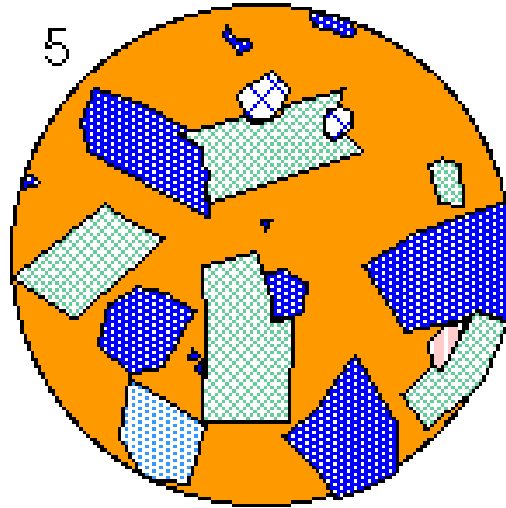
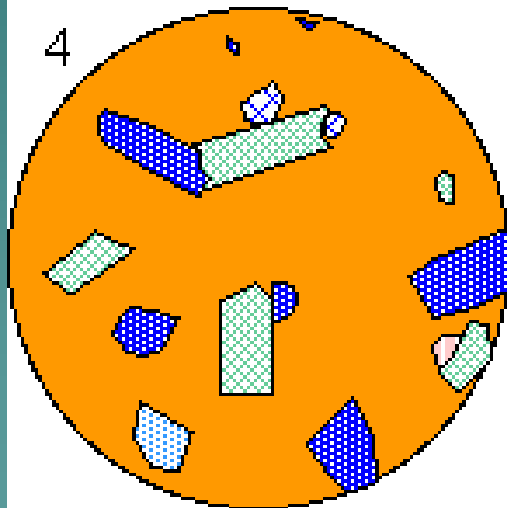
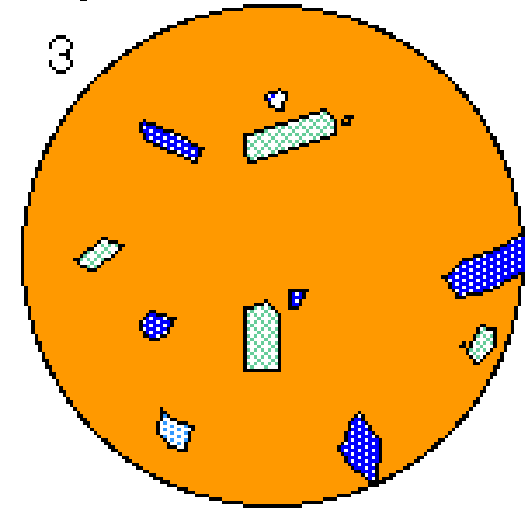
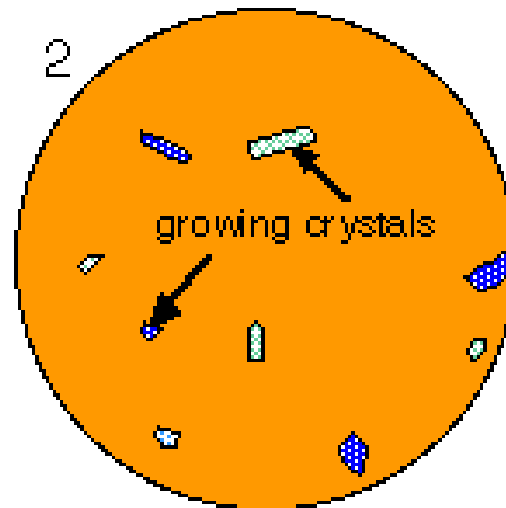
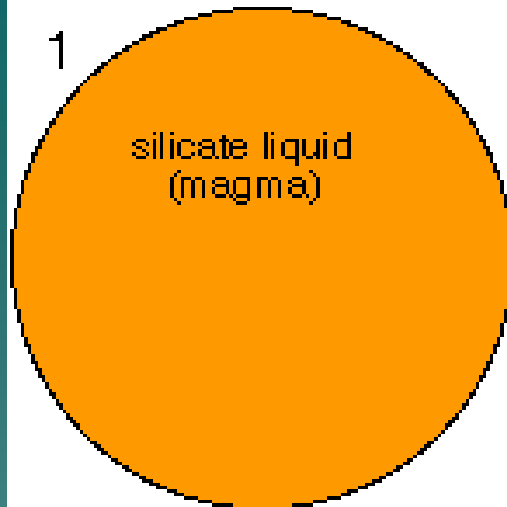
Struktura magmatskih stijena

Glavni faktor koji određuje strukturu magmatske stijene je brzina hlađenja. Uz njega vrlo važnu ulogu imaju i : stupanj difuzije (brzina kojom se atomi, ioni, molekule mogu kretati kroz taljevinu), brzina nukleacije novih kristala, te brzina rasta kristala. To znači da bi se kristal, odnosno njegov nukleus, formirao u magmi mora biti dovoljno kemijskih konstituenata na istom mjestu u isto vrijeme. Kada se jednom nukleus formira, kemijski konstituenti moraju difuzijom dolaziti na površinu rastućeg kristala, te će tako kristal rasti tako dugo dok ne ponestane gradbenih elemenata (atoma, iona...) ili se ne „sudari” s drugim rastućim kristalima. Bitno je napomenuti da do nukleacije neće doći sve dok se ne postigne temperatura ravnotežne kristalizacije.

Evo primjera:

- 1.Sporo hlađenje –nukleacija je mala, a brzina rasta kristala srednja. Nastat će nekoliko kristala koji će rasti srednjom brzinom dok se međusobno ne sudare. Zbog toga što ima malo nukleacijskih centara, kristali će moći izrasti relativno veliki što će rezultirati krupnozrnatom strukturom (faneritska struktura)
- 2.Brzo hlađenje –nukleacija i brzina rasta kristala će biti velike. To će rezultirati stvaranju mnoštva kristala koji brzo rastu i koji će se vrlo brzo sudariti međusobno i stoga neće imati dovoljno ni vremena ni prostora da izrastu u velikim dimenzijama. Rezultat takvih uvjeta je finoizrnatna struktura (afanitska).
- 3.Vrlo brzo, gotovo trenutno, hlađenje – i nukleacija i brzina rasta će biti male. Rezultat toga će biti staklasta osnova sa sporadičnim sitnim kristalima (mikroliti).
- 4.Dva stadija hlađenja – nakon sporog i postupnog hlađenja koje rezultira krupnim kristalima, slijedi brzo hlađenje i stvaranje finoiznatih kristala koji čine matriks ili osnovu (porfirna struktura)

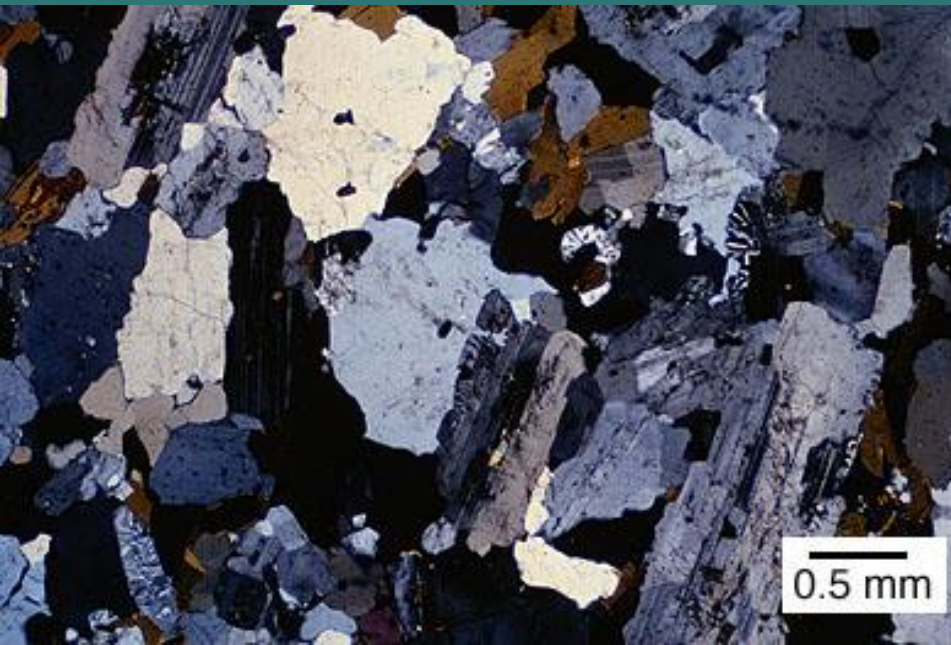
cooling and crystallizing



network of intergrown crystals;
all magma used up

Struktura magmatskih stijena

- određena je veličinom, oblikom i međusobnim odnosom mineralnih sastojaka
- dva su osnovna tipa strukture: zrnata (granularna) i porfirna



Zrnata struktura - mikroskopski

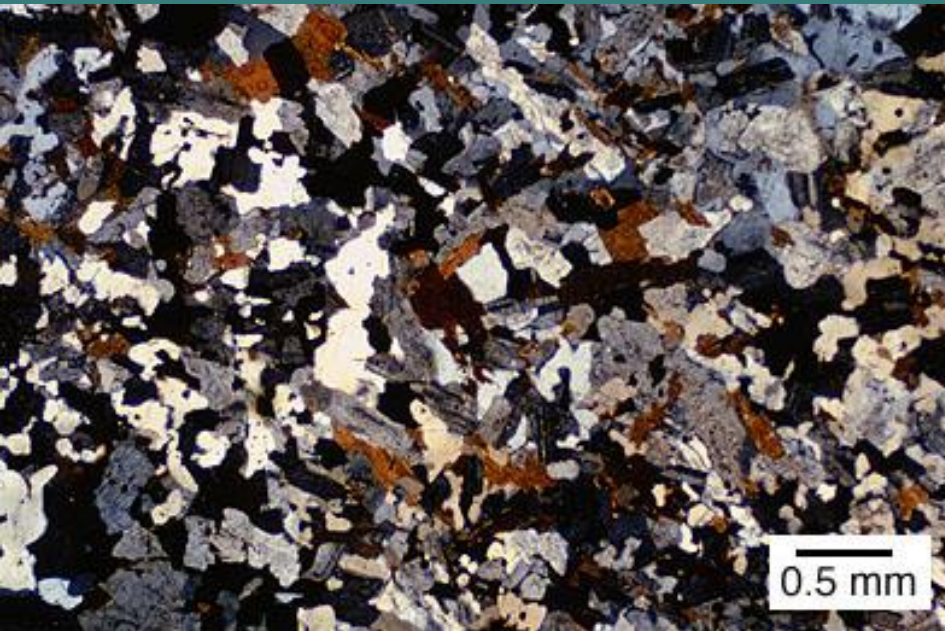


A Granite

Zrnata struktura - makroskopski

Zrnatu strukturu imaju potpuno kristalizirane stijene u kojima se minerali približno jednake veličine dodiruju. Tipična je za intruzivne stijene. Može biti:

- idiomorfna (ako su mineralni sastojci pravilnih oblika)
- hipidiomorfna (ako su sastojci djelomično pravilni)
- alotriomorfna (ako su sastojci nepravilnog oblika)



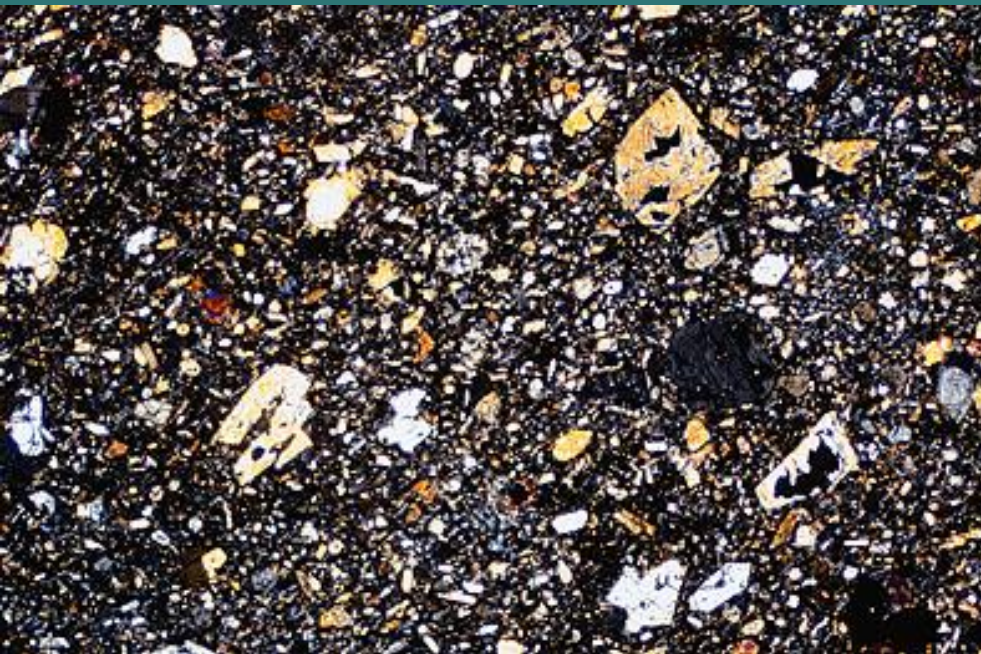
Zrnata struktura - mikroskopski



B Diorite

Zrnata struktura - makroskopski

Porfirnu strukturu karakterizira sitnozrnata ili staklasta osnova u kojoj su nepravilno rasuti krupniji kristali (fenokristali ili utrusci).



Porfirna struktura - mikroskopski



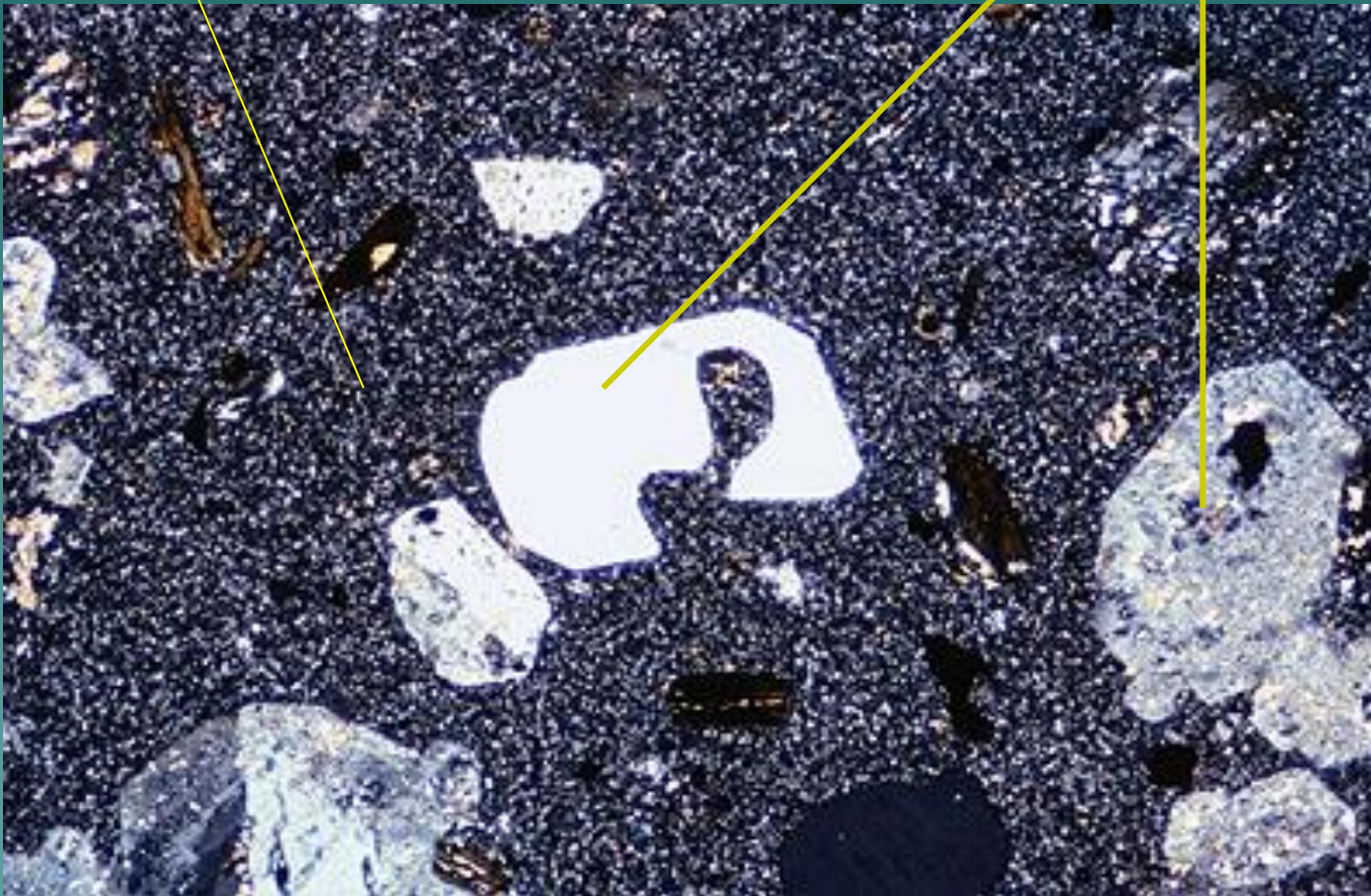
E Andesite (porphyritic)

Porfirna struktura - makroskopski

Porfirna struktura tipična je za efuzivne stijene.

osnova

fenokristali (utrusci)



Slika mikroskopskog preparata stijene porfirne strukture.

Porijeklo magmi

Dolaze li magme iz jedinog dijela Zemlje koji je u rastaljenom stanju, vanjskog dijela jezgre? Malo vjerojatno! Naime, kemijski sastav rastaljenog dijela jezgre nije adekvatan, vanjska jezgra izgrađena je od Fe i Ni, dok je magma silikatna taljevina. U oceanskim bazenima pak, malo je vjerojatno da magma nastaje taljenjem oceanske kore, budući da je većina magmi koje eruptiraju u oceanima bazalnog sastava, a da bi bazalna magma nastala taljenjem oceanske (bazaltne) kore trebalo bi se desiti gotovo 100% taljenje te kore, što je opet malo vjerojatno. Na kontinentima eruptiraju i bazaltne, andezitne i riolitne magme. Bazaltne magme sigurno ne potječu od kontinentalne kore koja sadrži puno veći udio SiO_2 u sastavu. Za razliku od njih, više kiselije magme (andezitne-riolitne) mogu nastajati pretaljivanjem kontinentalne kore. Stoga, s izuzetkom kontinenata, magme najvjerojatnije potječu iz plašta, i to njegovim parcijalnim taljenjem. Treba napomenuti da se magma ne formira svugdje ispod površine, već samo u onim dijelovima gdje su zadovoljeni određeni uvjeti. Konkretno, da bi proizveli magmu, moramo ili povećati temperaturu iznad točke tališta peridotita ili moramo na neki način sniziti temperaturu taljenja peridotita (npr. prisutnost vode u sistemu). Kada se taljevina jednom formira, lako se može separirati od okolne čvrste stijene budući da je mobilnija i ima manju gustoću.

Kristalizacija - taljenje

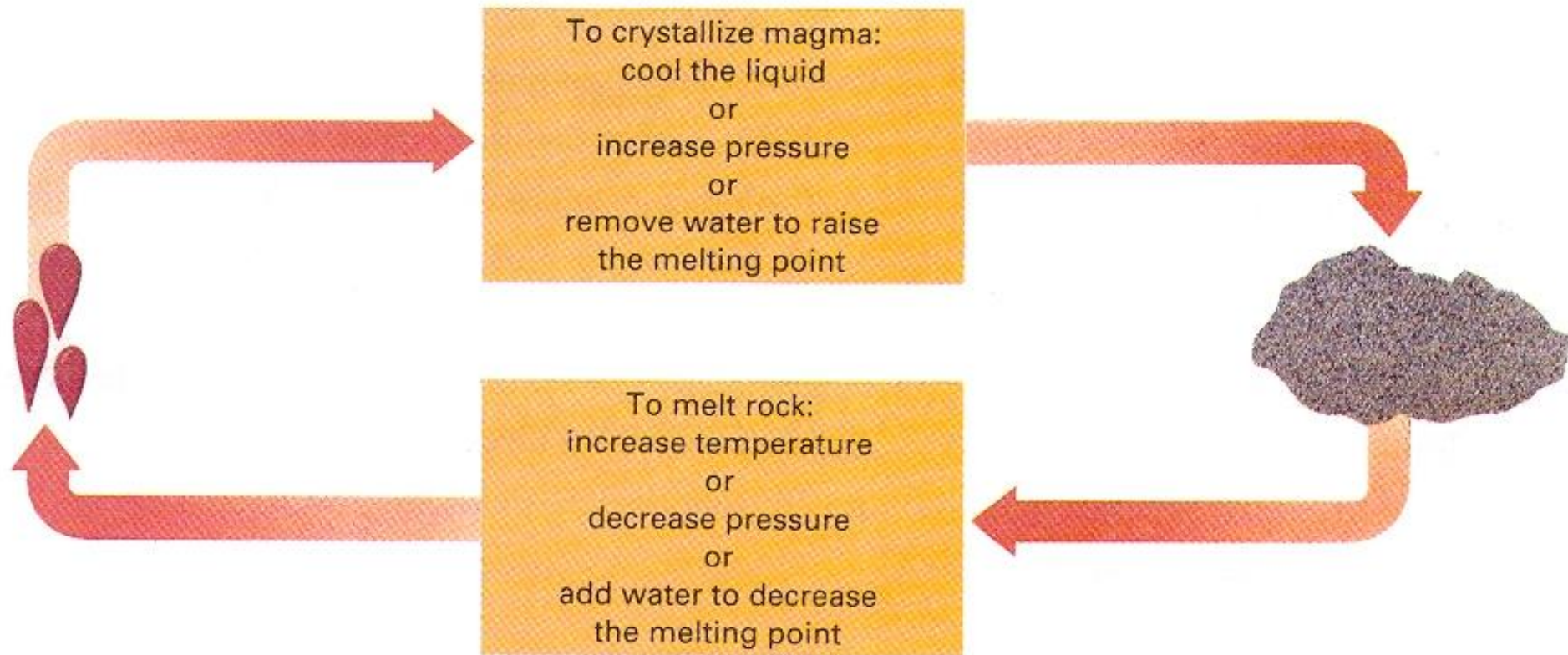
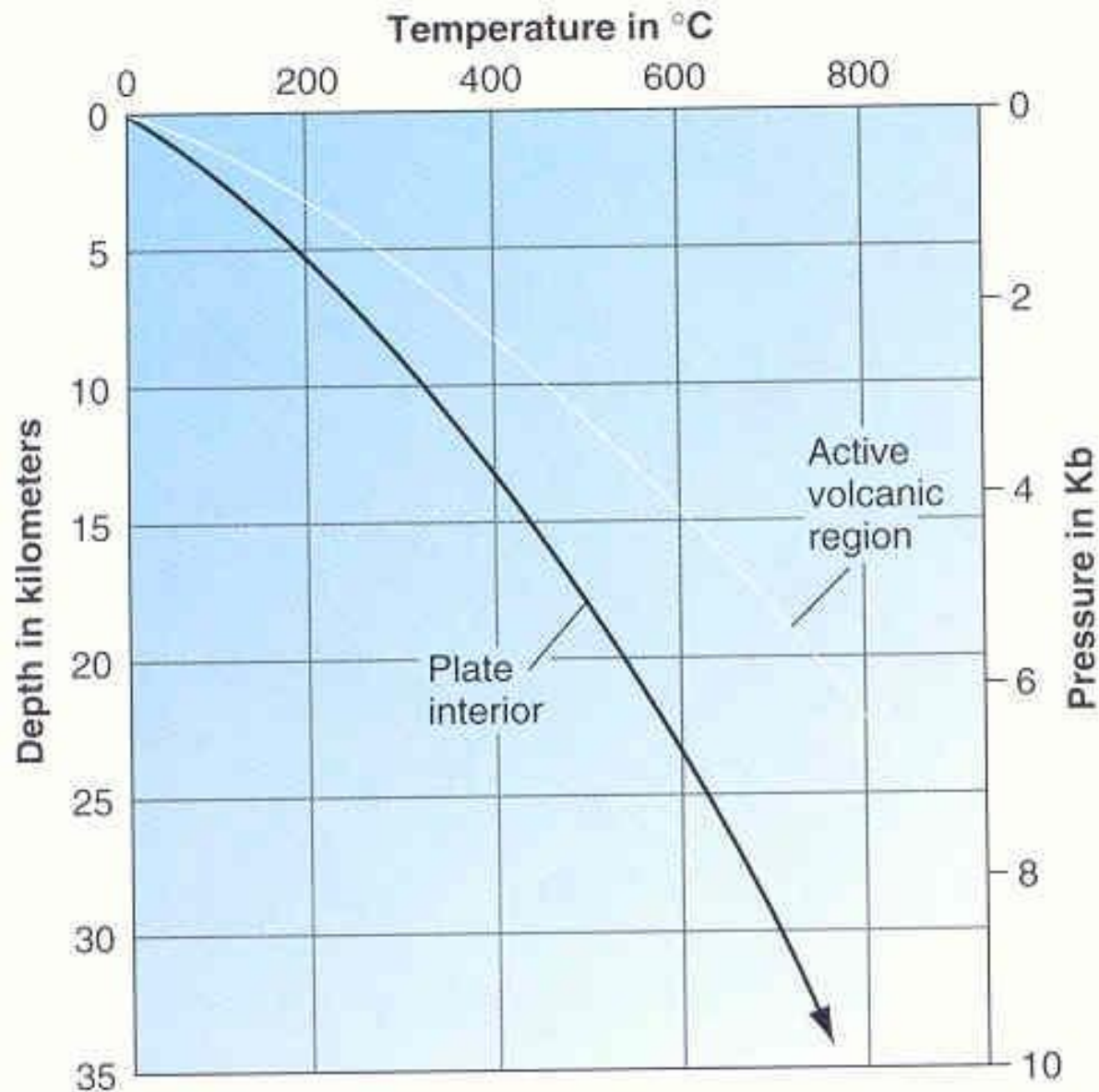
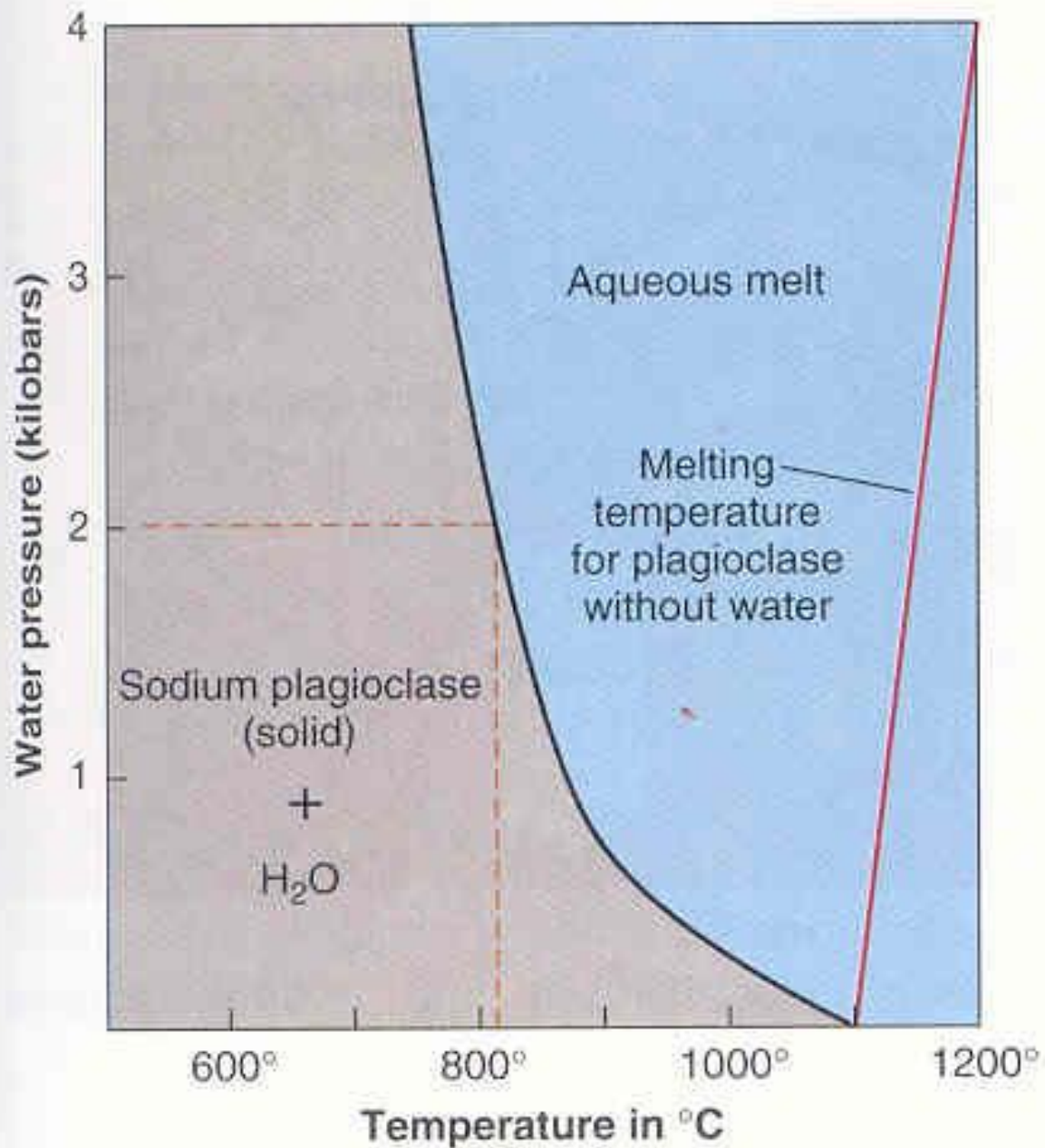


Figure 7-2 The lower box shows that increasing temperature, addition of water, and decreasing pressure all melt rock to form magma. The upper box shows that cooling, increasing pressure, and water loss all solidify magma to form an igneous rock.

Dijagram pokazuje porast temperature s dubinom (geotermalni gradijent). Geotermalni gradijent u aktivnim vulkanskim područjima je viši od onog u unutrašnjosti kontinenata.

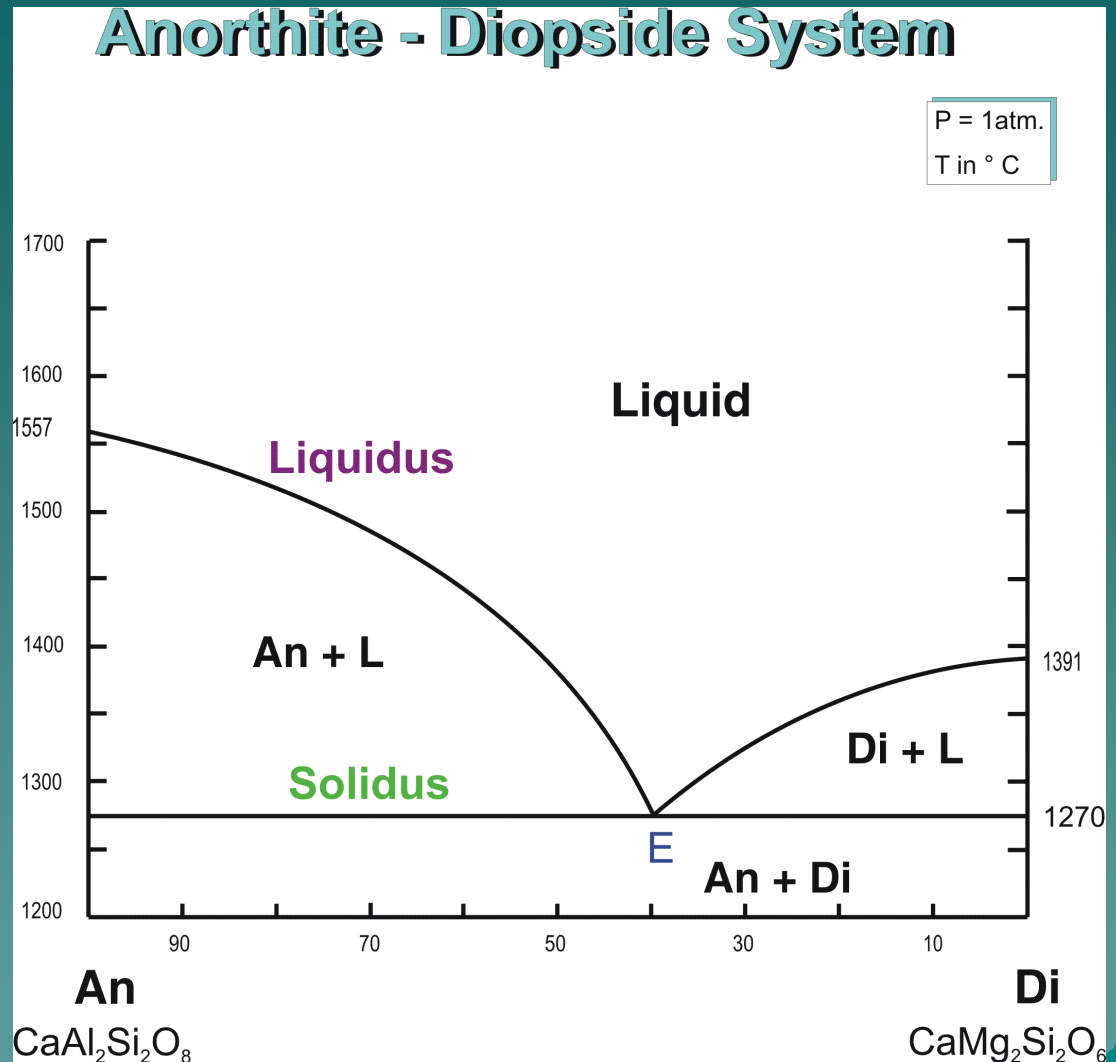


Faktori koji utječu na temperaturu taljenja – tlak, voda pod pritiskom, mješavina minerala. Na ovom dijagramu prikazan je odnos pritiska vode i temp. taljenja. Ako voda nije prisutna, plagioklasi će se taliti na temperaturama desno od crvene linije. Prisutnost vode uvelike će smanjiti temperaturu taljenja i to pogotovo ako je prisutna pod velikim pritiskom. Ako je pritisak vode nula, potrebno je preko 1000 stupnjeva C da dođe do taljenja, a kod pritiska vode od 2 kilobara taljenje se dešava kod 800 stupnjeva C.



Mješavina minerala kao faktor koji utječe na sniženje temperature taljenja.

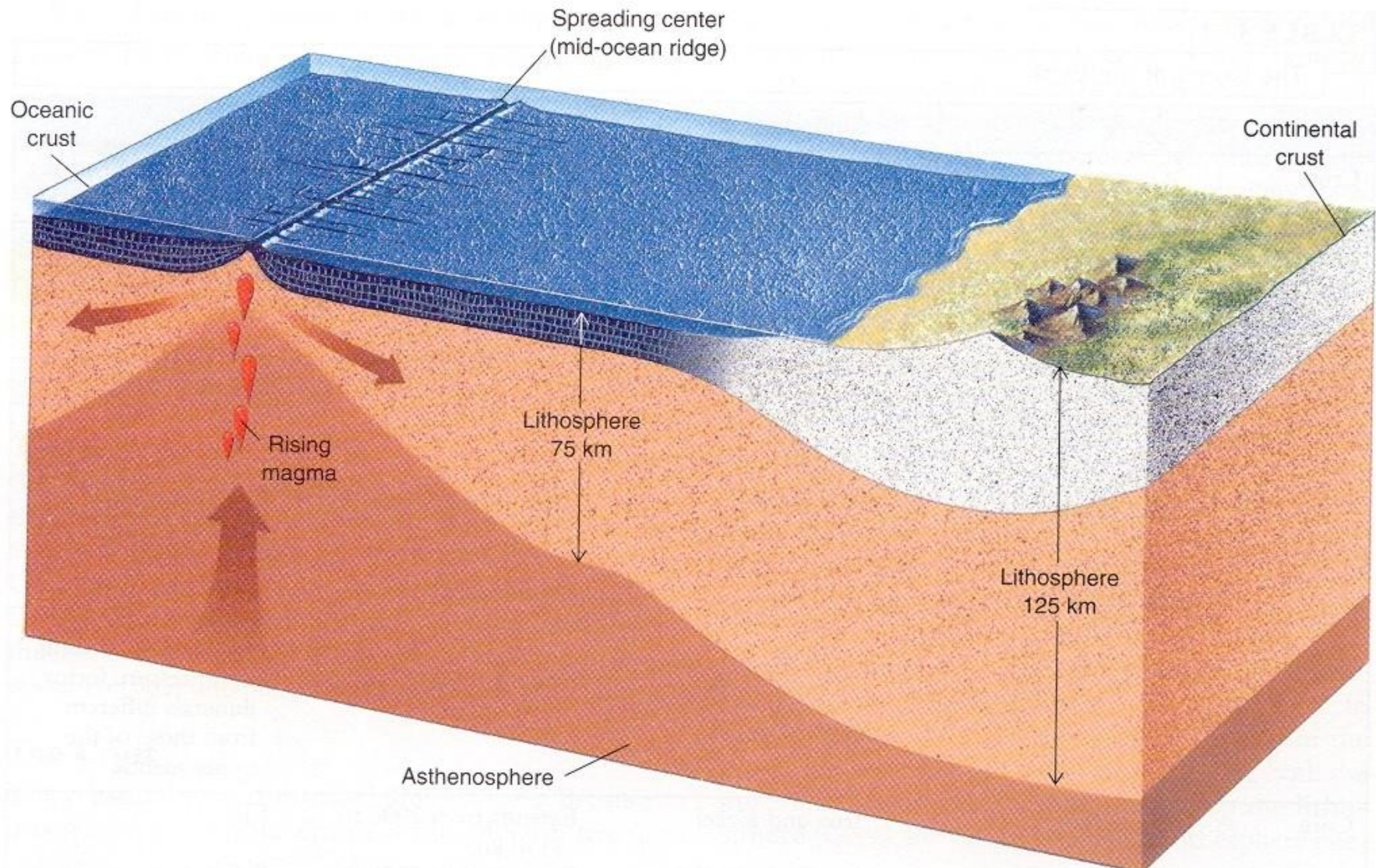
Dijagram pokazuje tališne temperature čistih supstancija (minerala) i tališne temperature mješavine minerala. Npr. anortit se počinje taliti i završava taljenje na točno određenoj temp. od 1557 °C, dok se za mješavinu npr. 70% anortita i 30% diopsida temperatura taljenja snižava, počinje na 1270 °C i završava na približno 1500 °C.



Tektonski okoliši u kojima se formira magma:

- Srednje oceanski hrptovi
- Područje ispod vrućih točaka
- Zone subdukcije

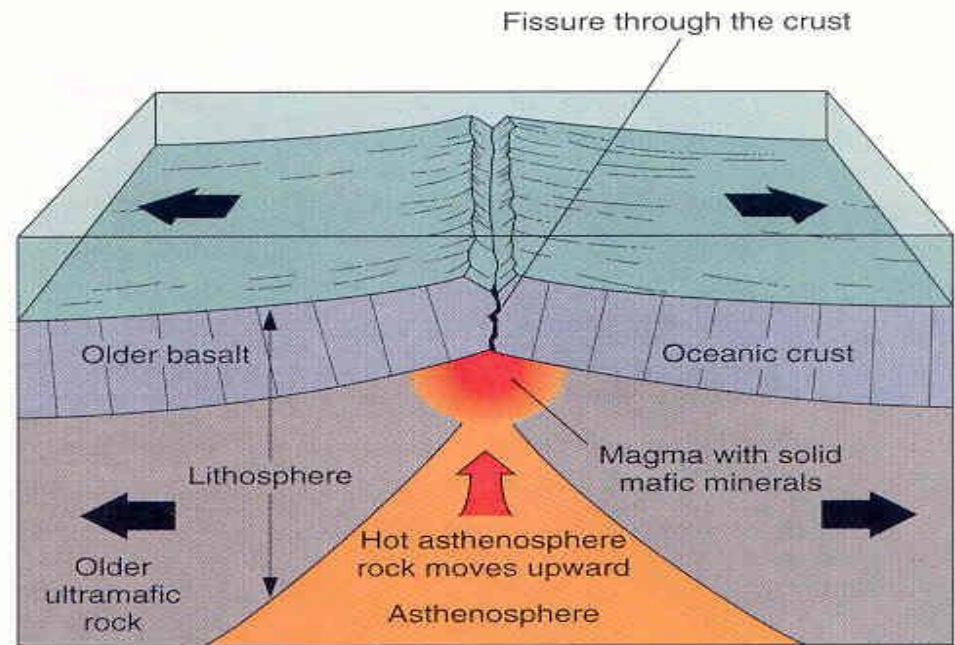
Preuzeto iz Thompson & Turk (1999): Earth Science



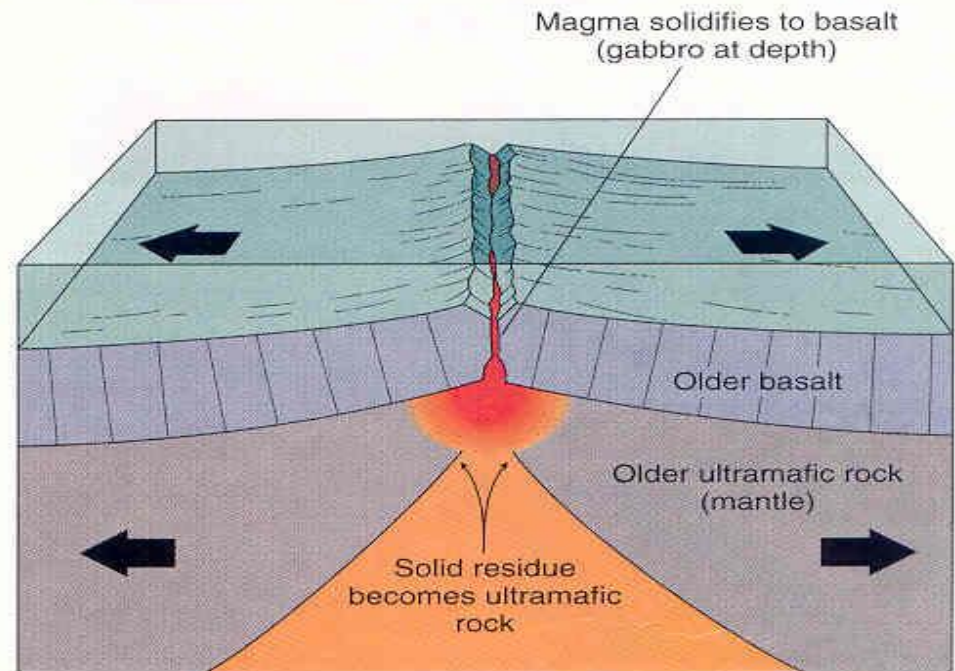
Šematski prikaz postanka bazaltne oceanske kore i ultramafičnih (ultrabazičnih) stijena u području divergentnih granica ploča (srednjooceanski hrptovi).

A) Parcijalno taljenje astenosfere započinje ispod srednjooceanskog hrpta

B) Magma se utiskuje u sistem pukotina

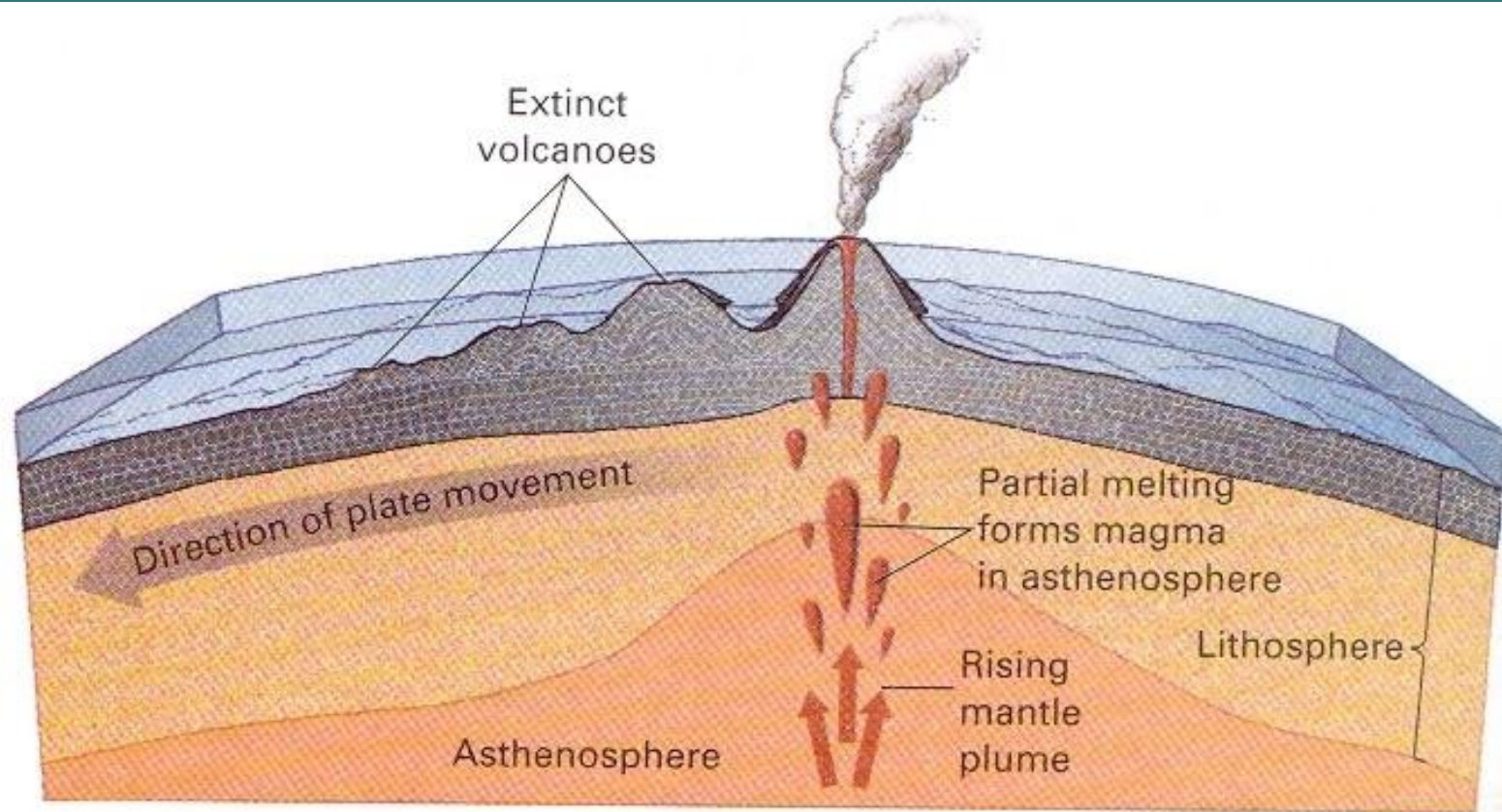


A

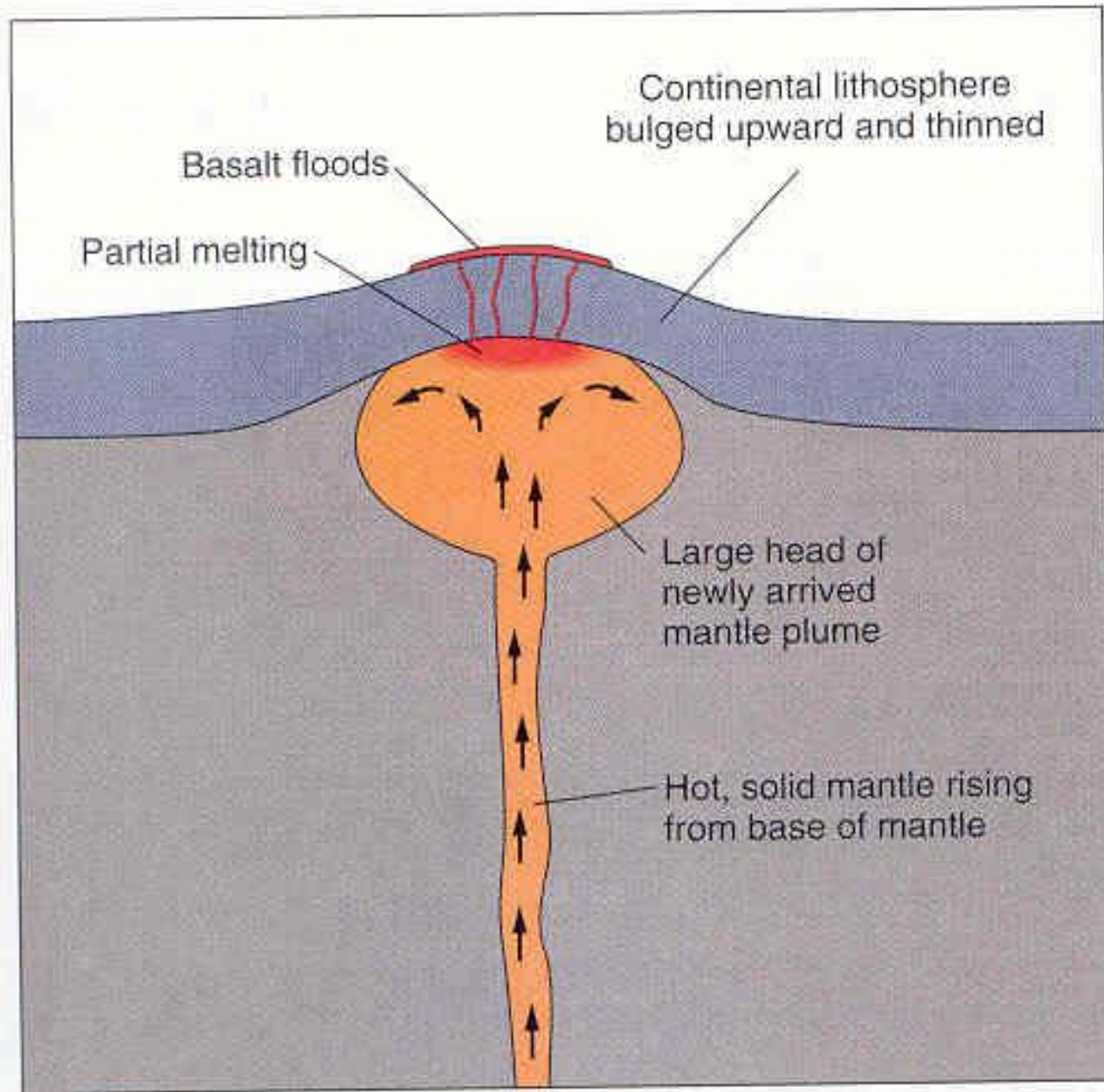


B

U određenim područjima dolazi do stvaranja izdizajućeg stupa vrućih, plastičnih stijena koje potječu duboko iz plašta. Kako se stjenjski materijal izdiže dolazi do smanjenja tlaka, a time i do taljenja i formiranja magme koja eruptira na površinu Zemlje. Takva, vulkanski aktivna mjesta na površini Zemlje, koja se nalaze direktno iznad izdizajućeg stupa materijala iz plašta nazivamo vruće točke. One se mogu pojavljivati i u unutrašnjosti tektonskih ploča (npr. Yellowstone, Havaji), a ne samo na njihovim granicama.

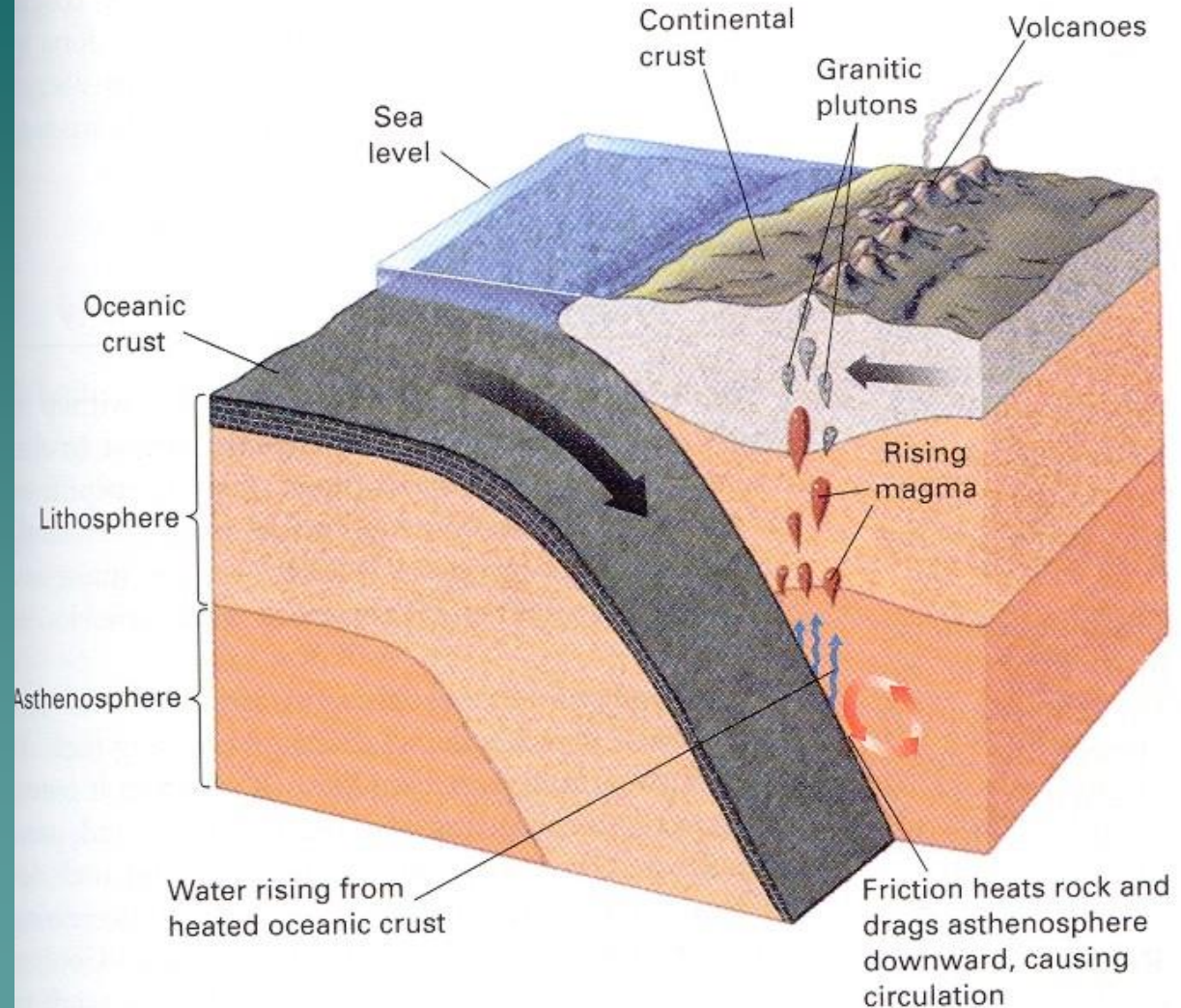


Stup vrućeg materijala izdiže se iz donjeg dijela plašta. Kada dosegne bazu litosfere, on ju izdiže i stanjuje. Reducirani pritisak (jer je materijal iz dubljeg dijela plašta došao u pliće dijelove) dovodi do parcijalnog taljenja i stvaranja bazaltne magme koja kroz pukotine izlazi na površinu.

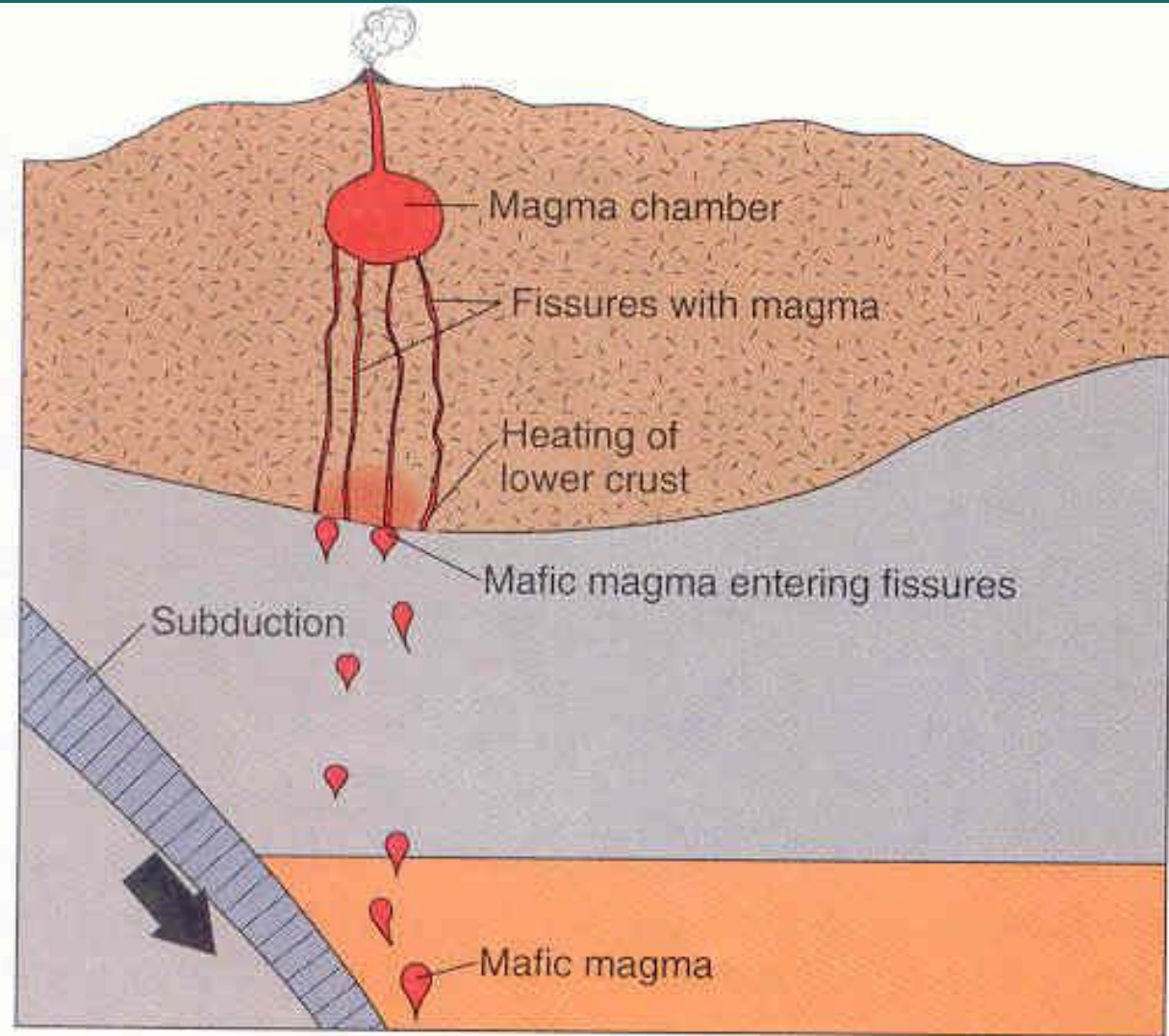


Tri faktora doprinose taljenju astenosfere i produkciji magme u subdukcijskoj zoni:

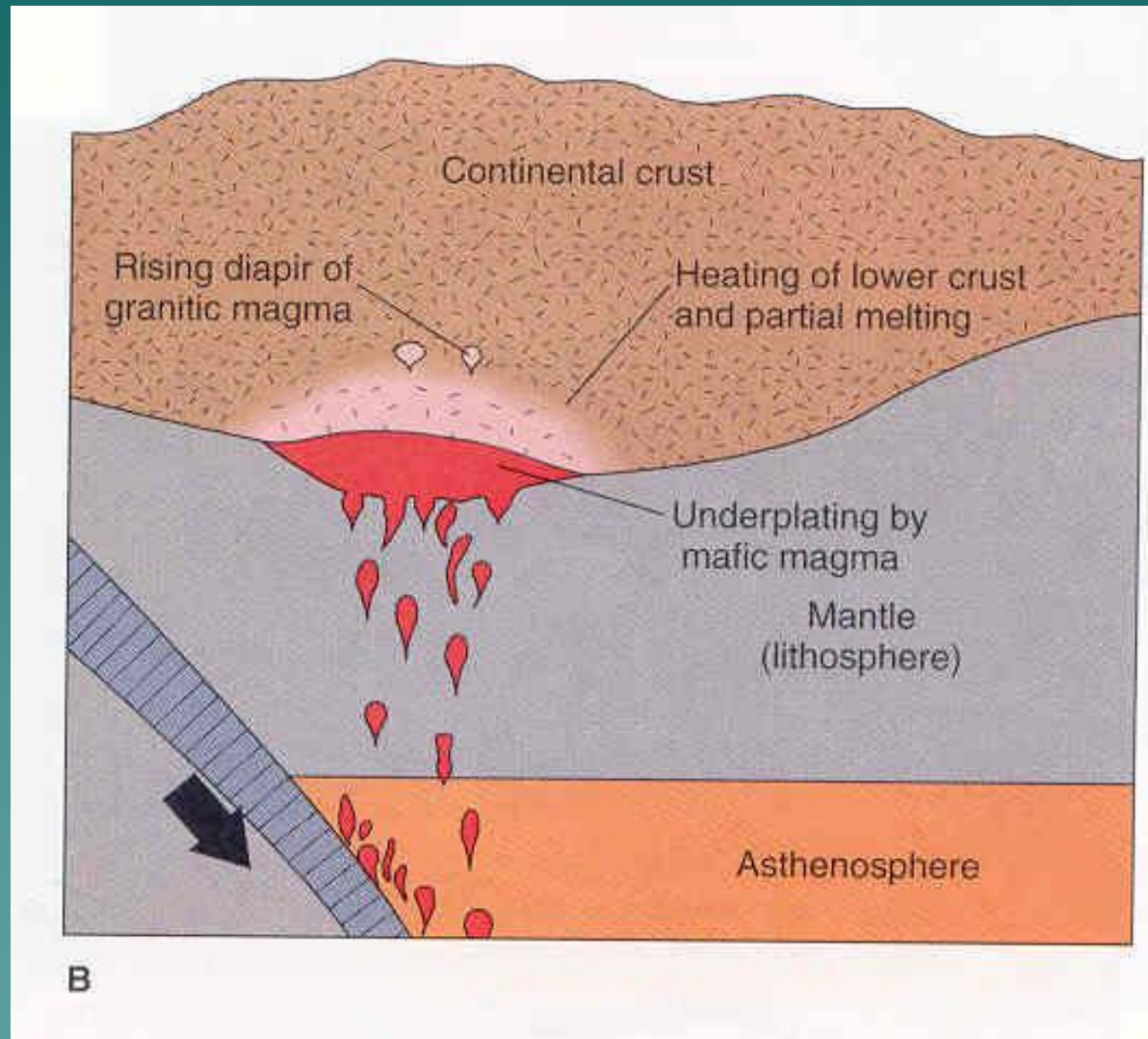
- 1) Voda izlazi iz zagrijane oceanske kore na vrhu subducirane ploče i snižava točku tališta
- 2) Cirkulacija u astenosferi smanjuje pritisak
- 3) Trenje zagrijava stijene u subdukcijskoj zoni



Primjer stvaranja magme u subdukcijskoj zoni. U dubljim dijelovima subdukcijske zone dolazi do taljenja astenosfere i stvaranja bazične (mafične) magme. Ona se izdiže zbog manje gustoće od okolnog materijala i dolazi do baze kontinentalne kore, koja se u kontaktu s magmom zagrijava. Ako u stijenskom materijalu iznad postoje pukotine, bazična magma će doći do površine.

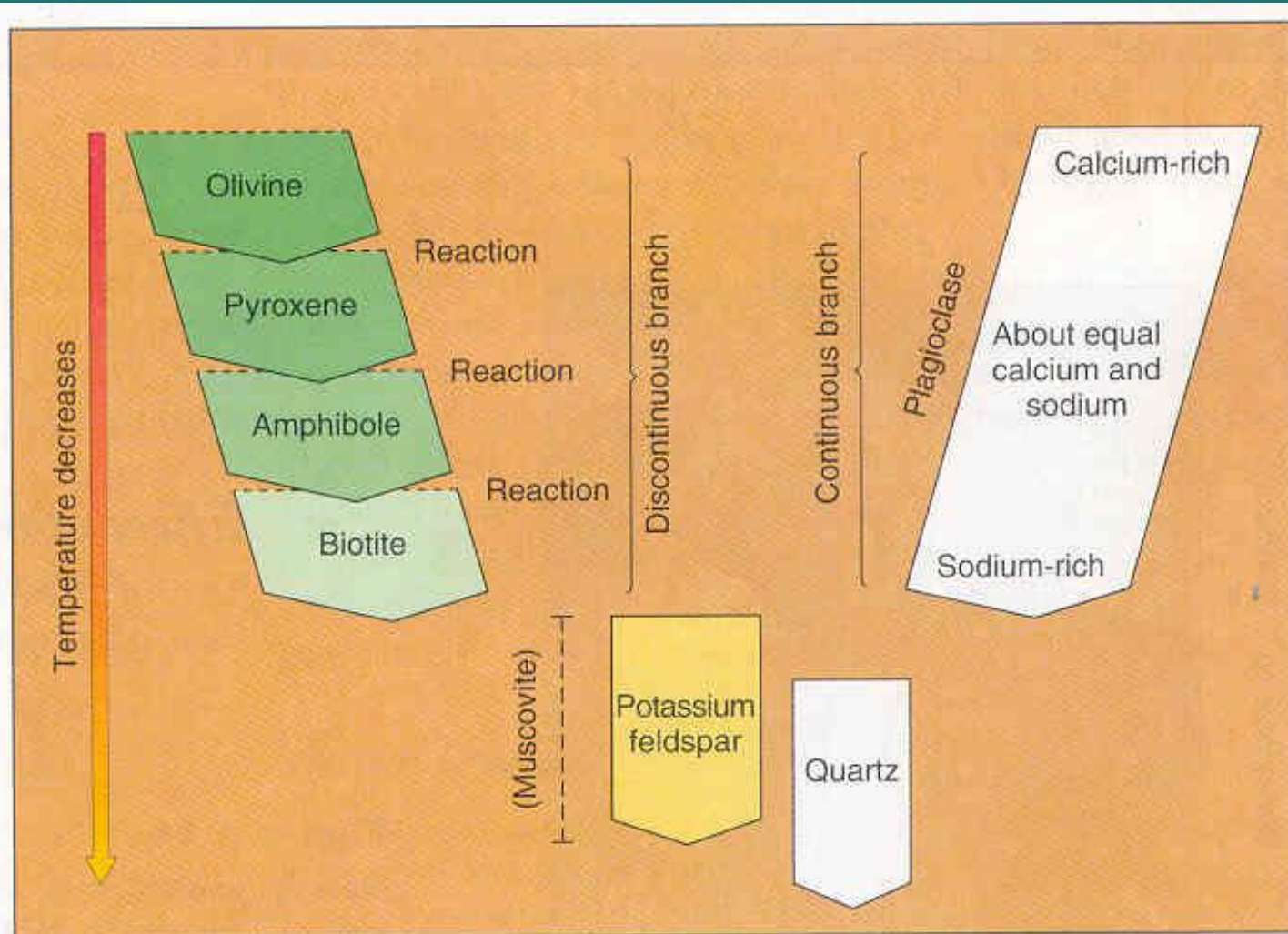


Postanak granita. Slična situacija kao i na slajdu 30. Bazična magma, nastala parcijalnim taljenjem astenosfere, izdiže se i dolazi u podnožje kontinentalne kore. Ona se tu zaustavlja (nema pukotina kroz koje bi se probijala do površine) i zagrijava donji dio kont. kore. Usljed visoke temperature bazične magme dolazi do pretaljivanja (parcijalnog taljenja) materijala iz kore, koji je kiselijeg sastava (veći sadržaj SiO_2 , minerali niže točke tališta) i stvaranja granitske (kisele) magme.



BOWEN-ov niz kristalizacije magme

- Pokazuje redosljed kristalizacije magme koja se postupno hladi
- Minerali s višom točkom tališta kristaliziraju prije onih s nižom točkom tališta
- Diskontinuirani niz (olivin-piroksen-amfibol-biotit); kontinuirani niz (plagioklasi)



O izvornoj magmi ima više teorija. Jedna je teorija znanstvenika Bowena (1956) koji je pretpostavio da postoji samo jedna izvorna magma iz koje kristalizacijom nastaju različiti petrogeni minerali. On pretpostavlja dva kristalizacijska niza minerala – jedan je kontinuirani niz plagioklasa, a drugi je diskontinuirani niz feromagnezijskih minerala. Ta dva niza kristaliziraju usporedno navedenim redoslijedom u MAGMATSKOM STADIJU

U MAGMATSKOM STADIJU razlikuju se dva podstadija:

- rani stadij kristalizacije u kojemu pri visokoj temperaturi nastaju Mg-Fe silikati (olivin) te oksidi i sulfidi
- glavni stadij kristalizacije, do ca 600° C u kojem nastaju silikatni minerali koji uz Al sadrže Ca, Mg, Fe, Na i K

Postoje i tri postmagmatska stadija:

PEGMATITNI

PNEUMATOLITNI

HIDROTERMALNI

PEGMATITNI STADIJ

kod temperature od cca 500°C od ostatka magme kada je ona već prilično ohlađena kristaliziraju se minerali uglavnom u pukotinama već ranije očvrsljih stijena. Kristali su krupni, nastali su iz taljevine čije je sastav bitno različit od ishodišnoga. Naime, magma je kiseliya i ima povećani udio aluminija i alkalija, te povećani udio rijetkih elemenata kao npr.: Be (beril), Li (spodumen, lepidolit), B (turmalin), W (volframit), Nb i Ta (kolumbit, tantalit), te lakohlapljivih komponenti H₂O, H₂S, CO₂, SO₂, Cl

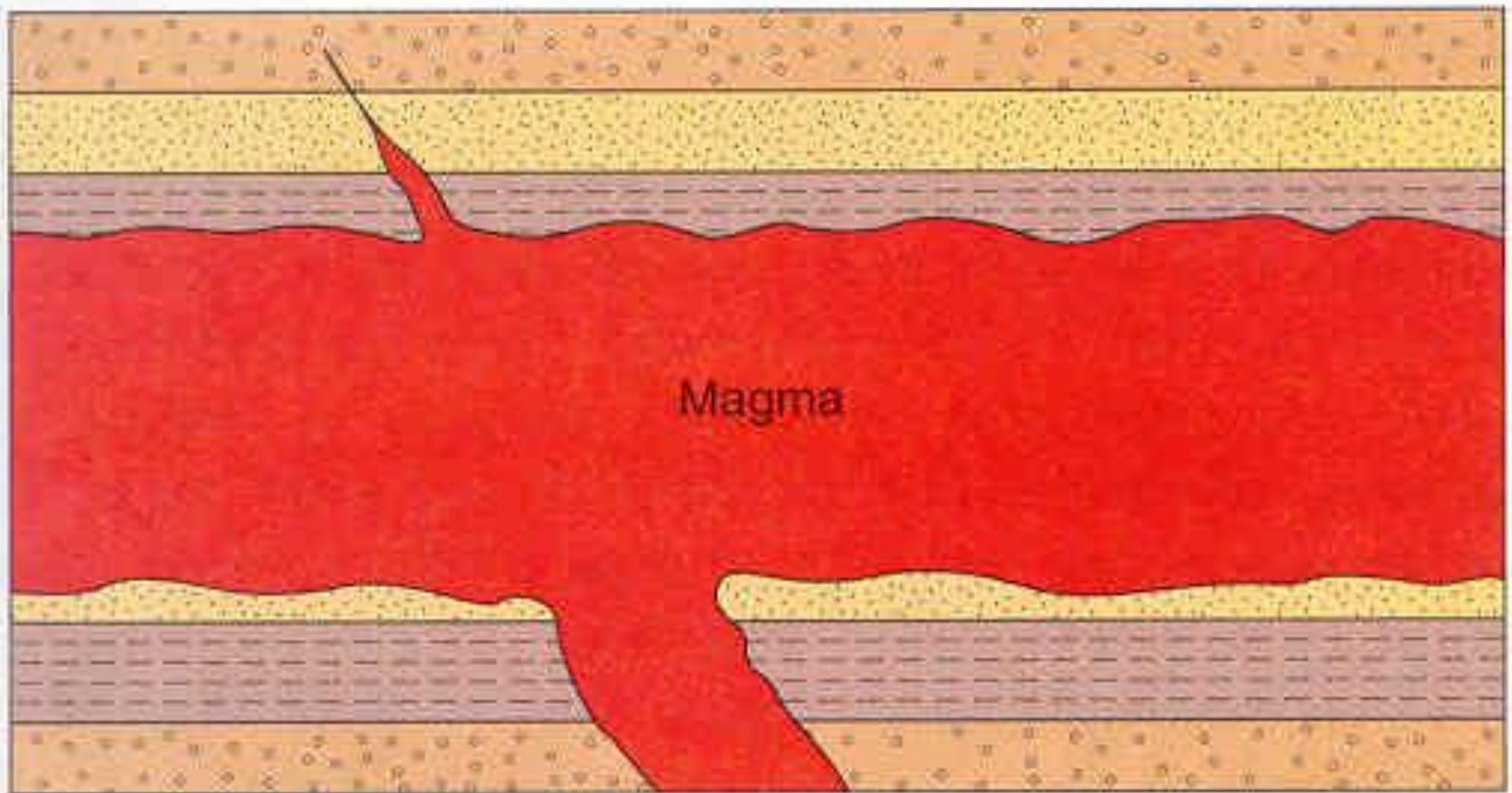
PNEUMATOLITSKI STADIJ

na temperaturama nižim od 400°C do 200°C iz preostalih plinova padom tlaka kristaliziraju tzv. minerali pneumatolitskog stadija. Kako ti plinovi prodiru i u najmanje pore okolnih stijena oni ih pritom mijenjaju i zato su minerali pneumatolitskog stadija rezultat kristalizacije iz preostalih para i izmijenjenih minerala okolnih stijena.

HIDROTERMALNI STADIJ

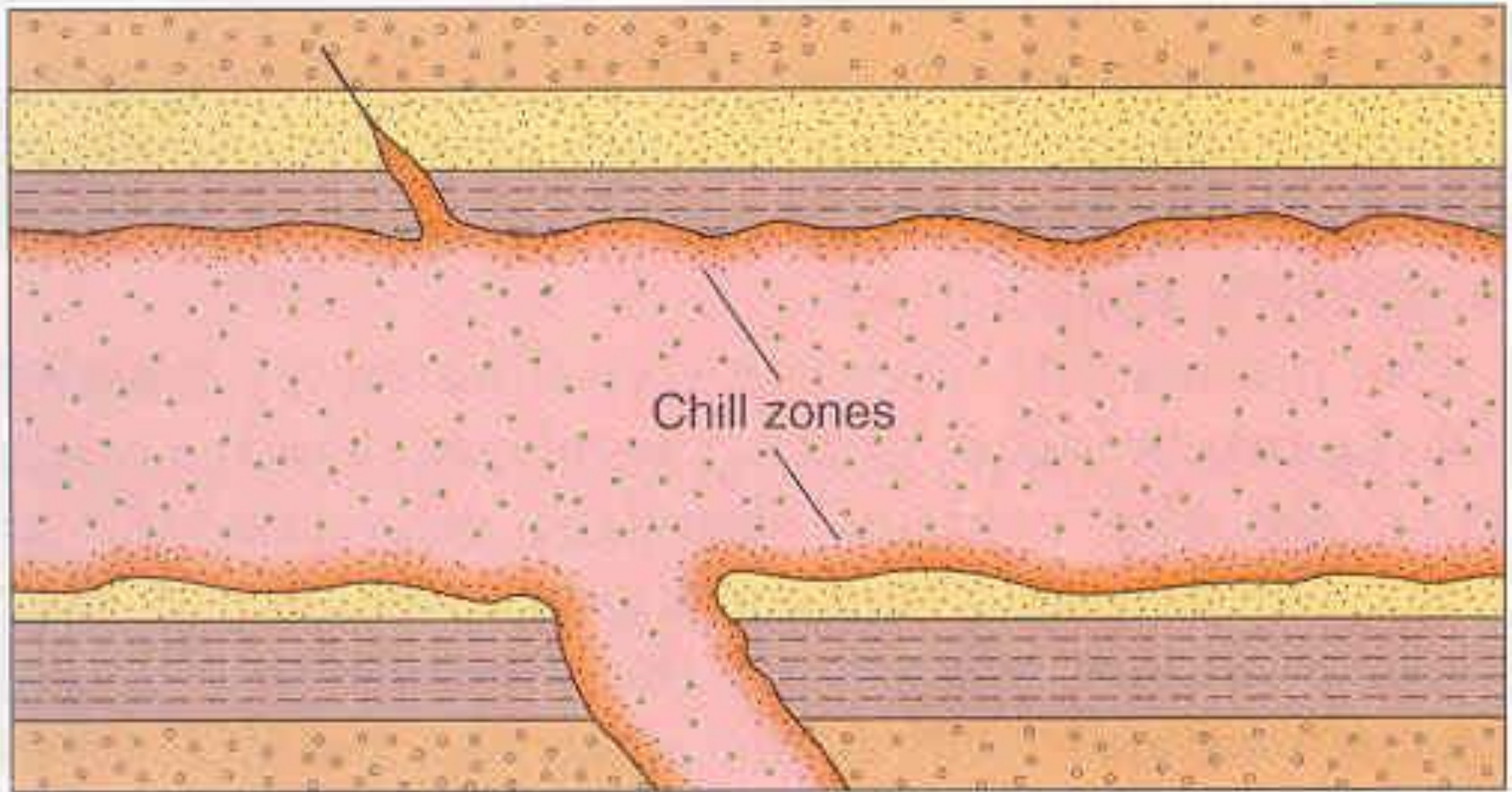
padom temperature ispod 200°C plinovi preostali iz primarne magmatske taljevine se kondenziraju u tekućine. Najilustrativnija pojava hidrotermalnog stadija su GEJZIRI mjesta gdje vruće otopine izlaze na površinu. Kristalizacijom iz vrućih otopina hidrotermalnoga stadija nastaje obilje rijetkih i korisnih minerala (kasiterit, molibdenit, sulfidi željeza, olova, cinka i bakra, antimonit, cinabarit, elementarno srebro, zlato...)

Diferencijacija magme frakcijskom kristalizacijom



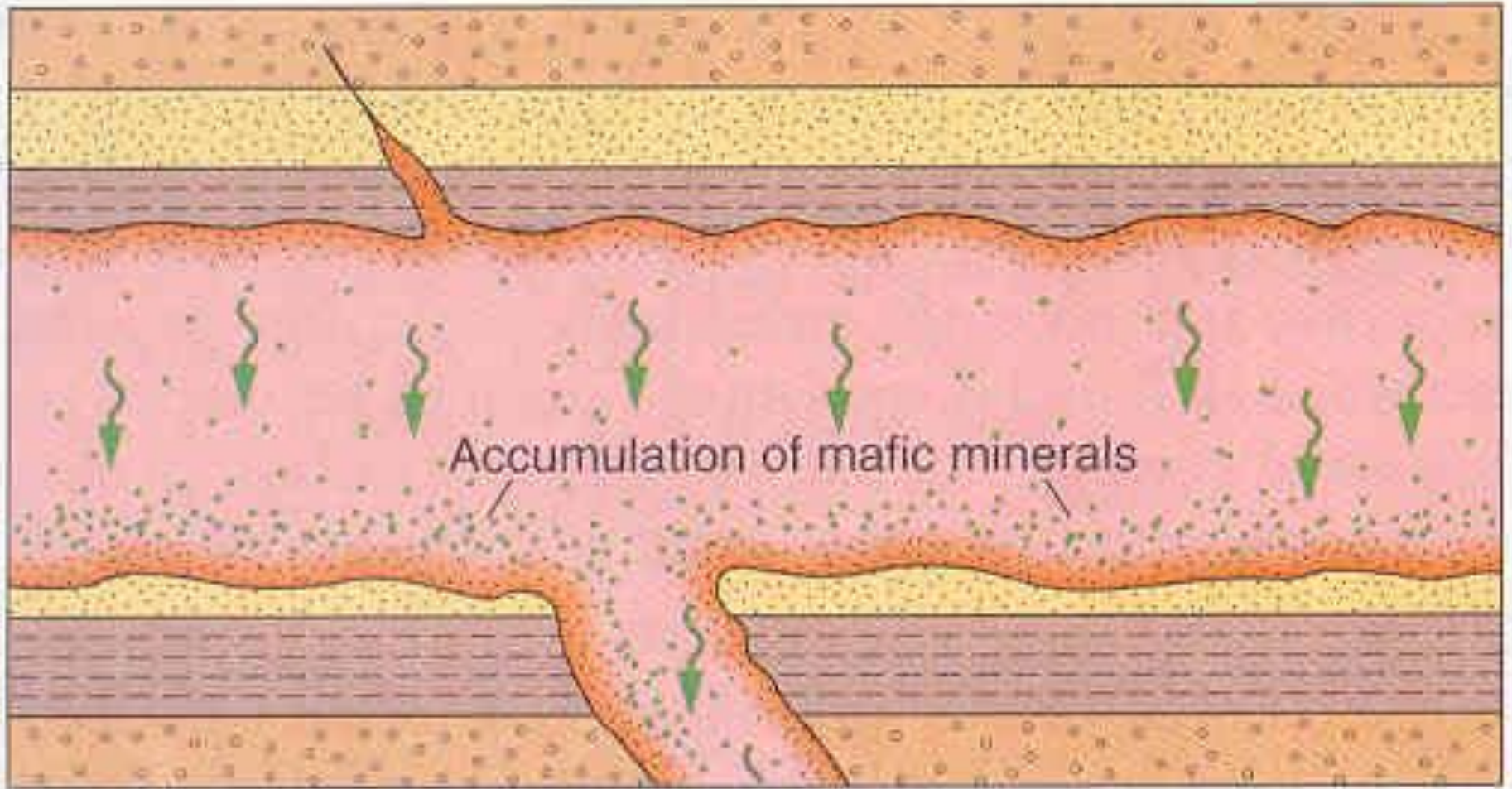
A

Diferencijacija magme frakcijskom kristalizacijom



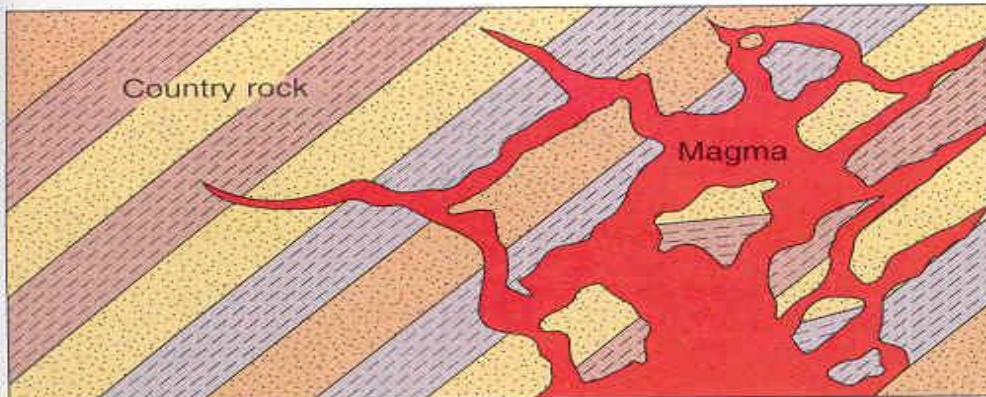
B

Diferencijacija magme frakcijskom kristalizacijom

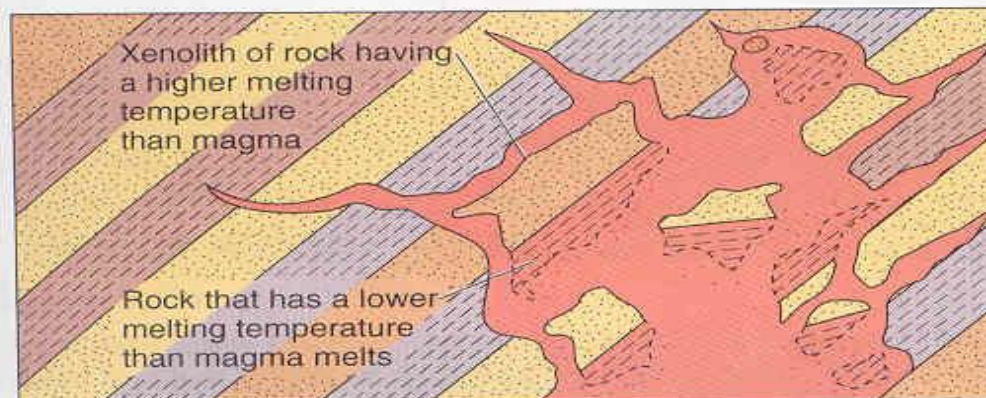


C

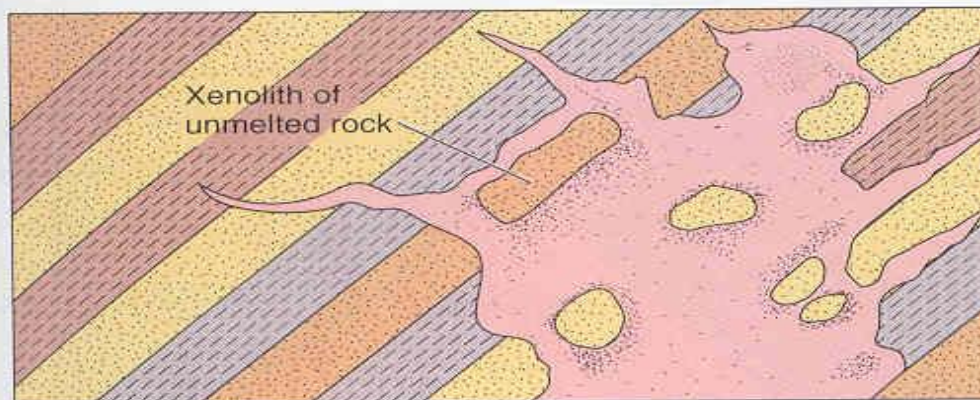
Promjena sastava magne asimiliacijom



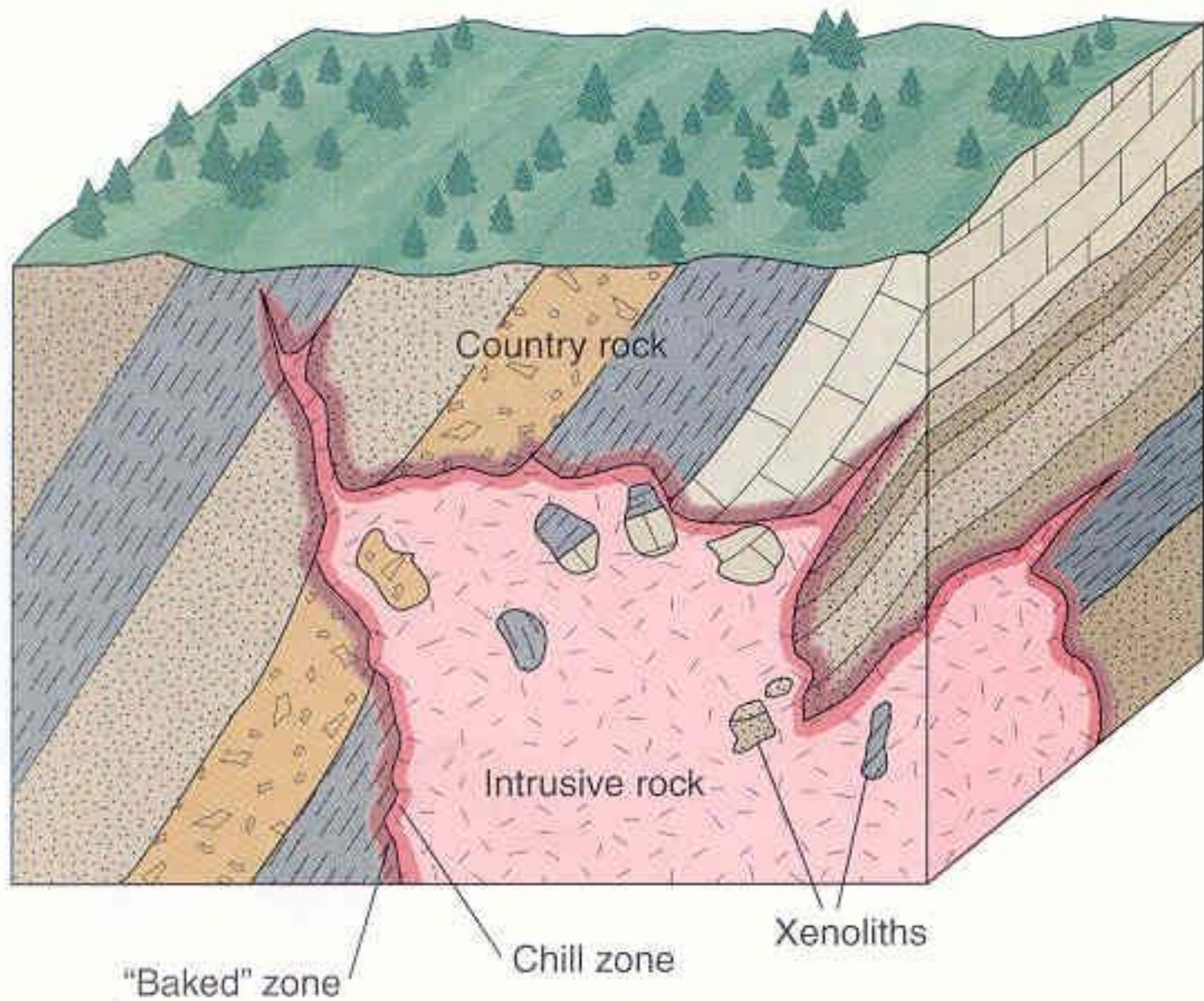
A



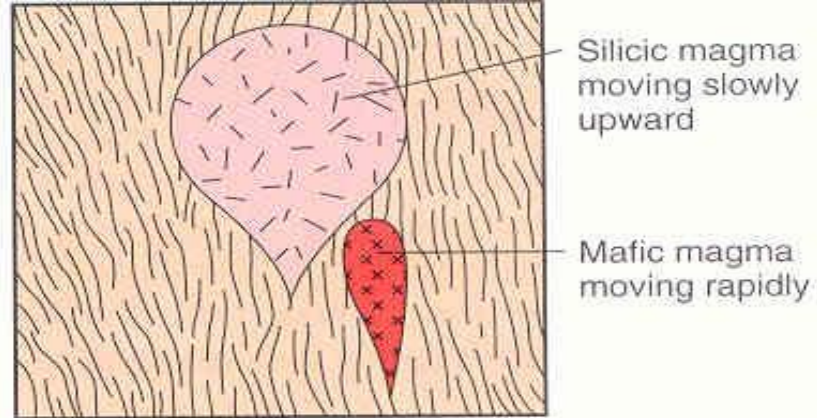
B



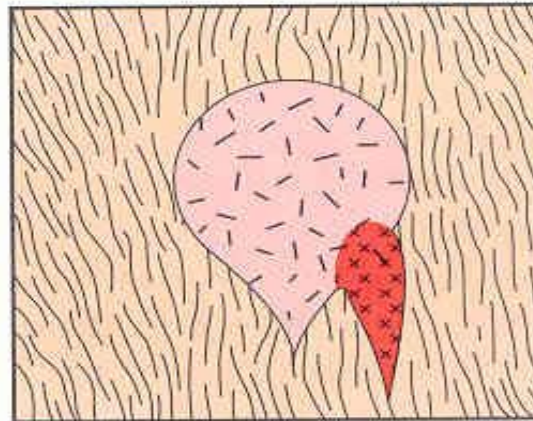
C



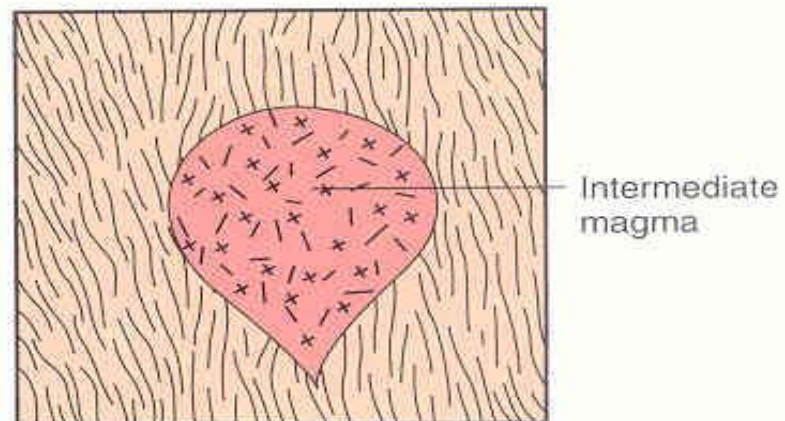
Promjena sastava magme miješanjem različitih magmi

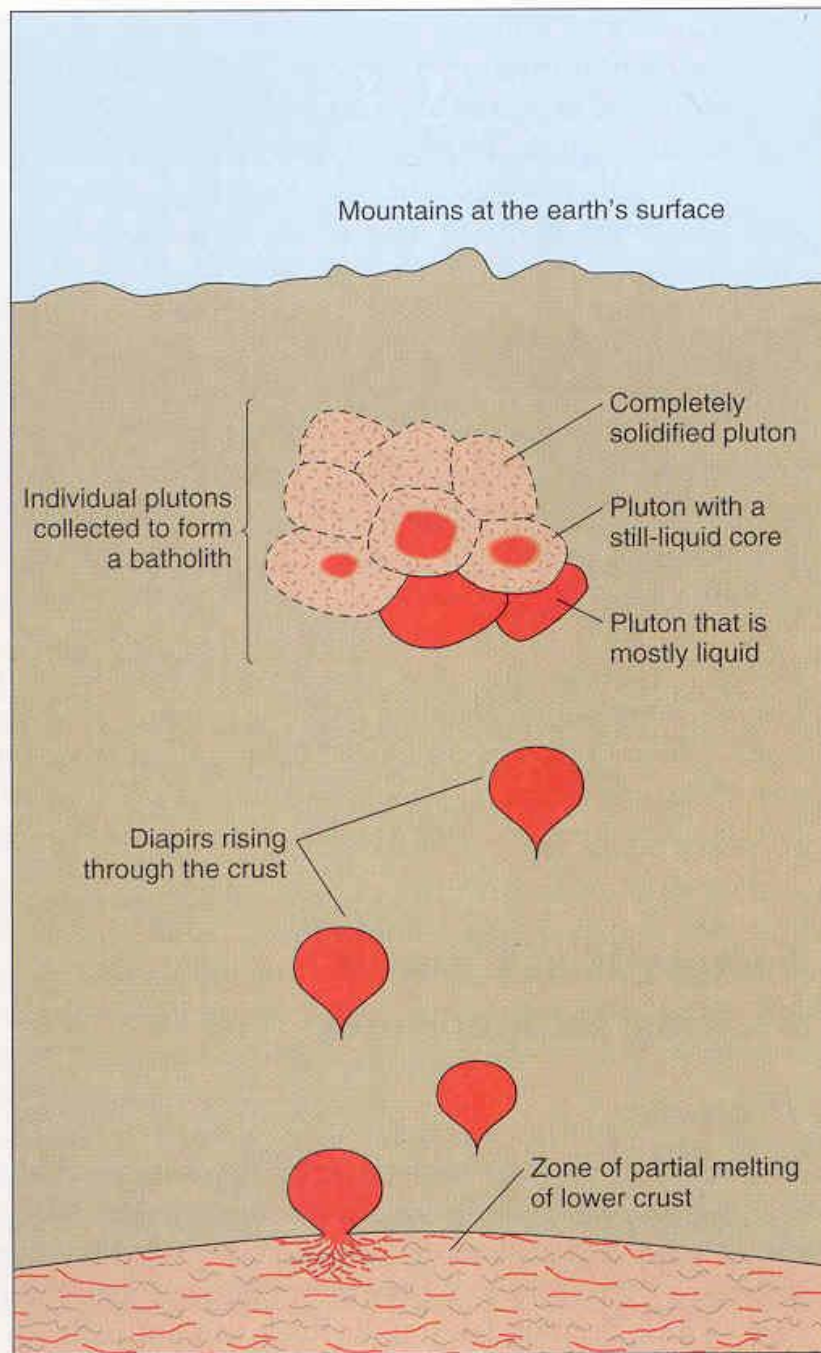


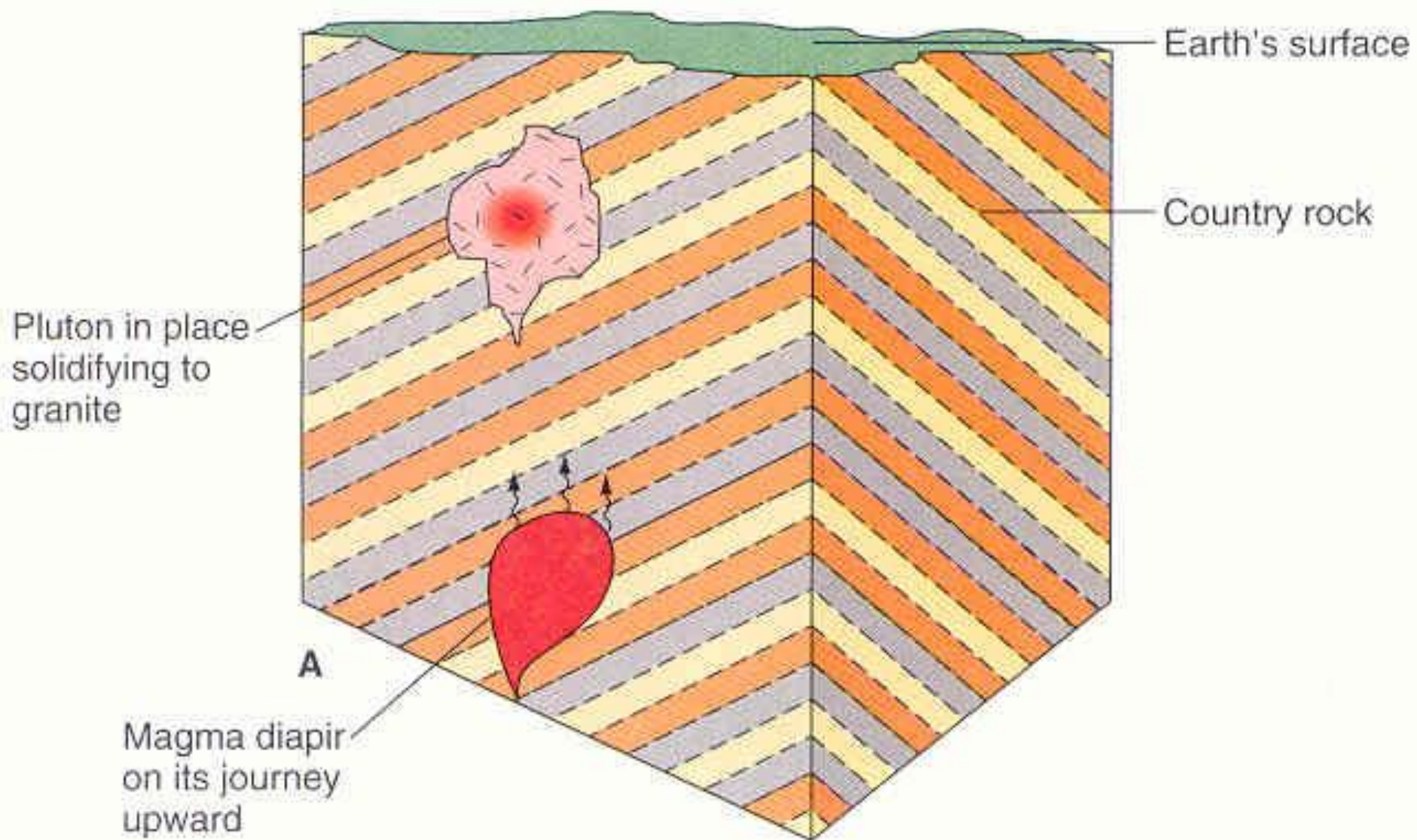
A

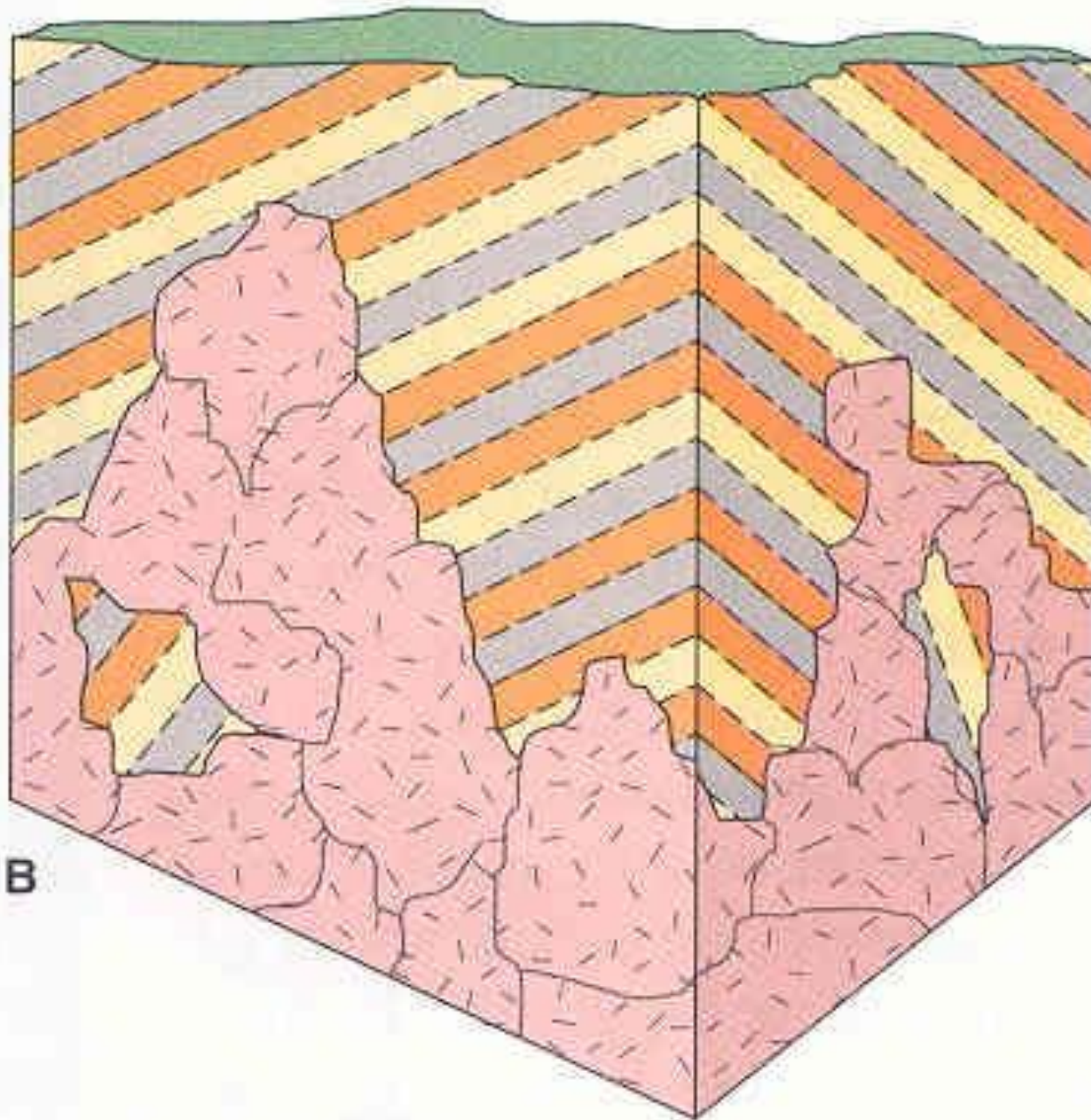


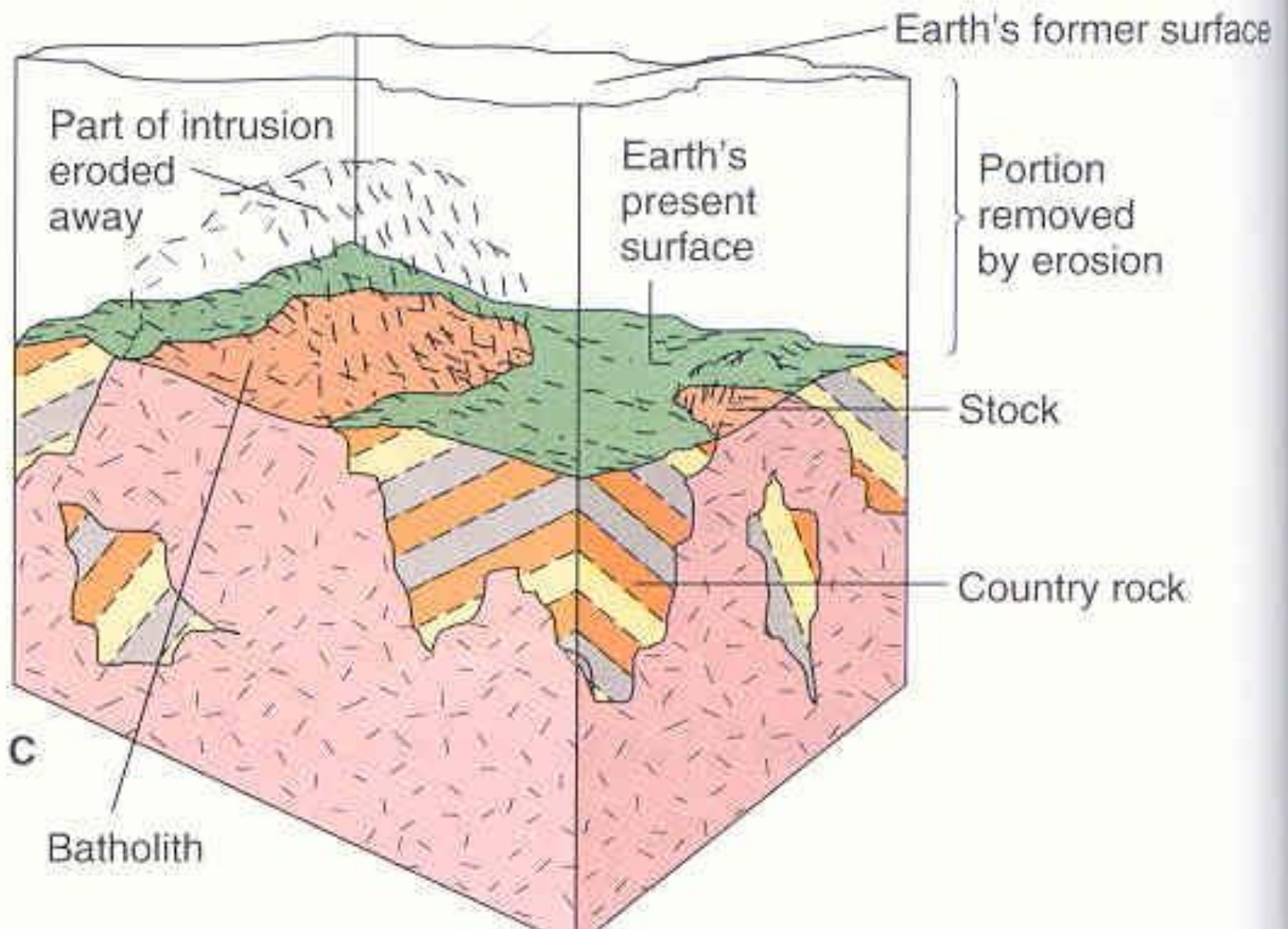
B











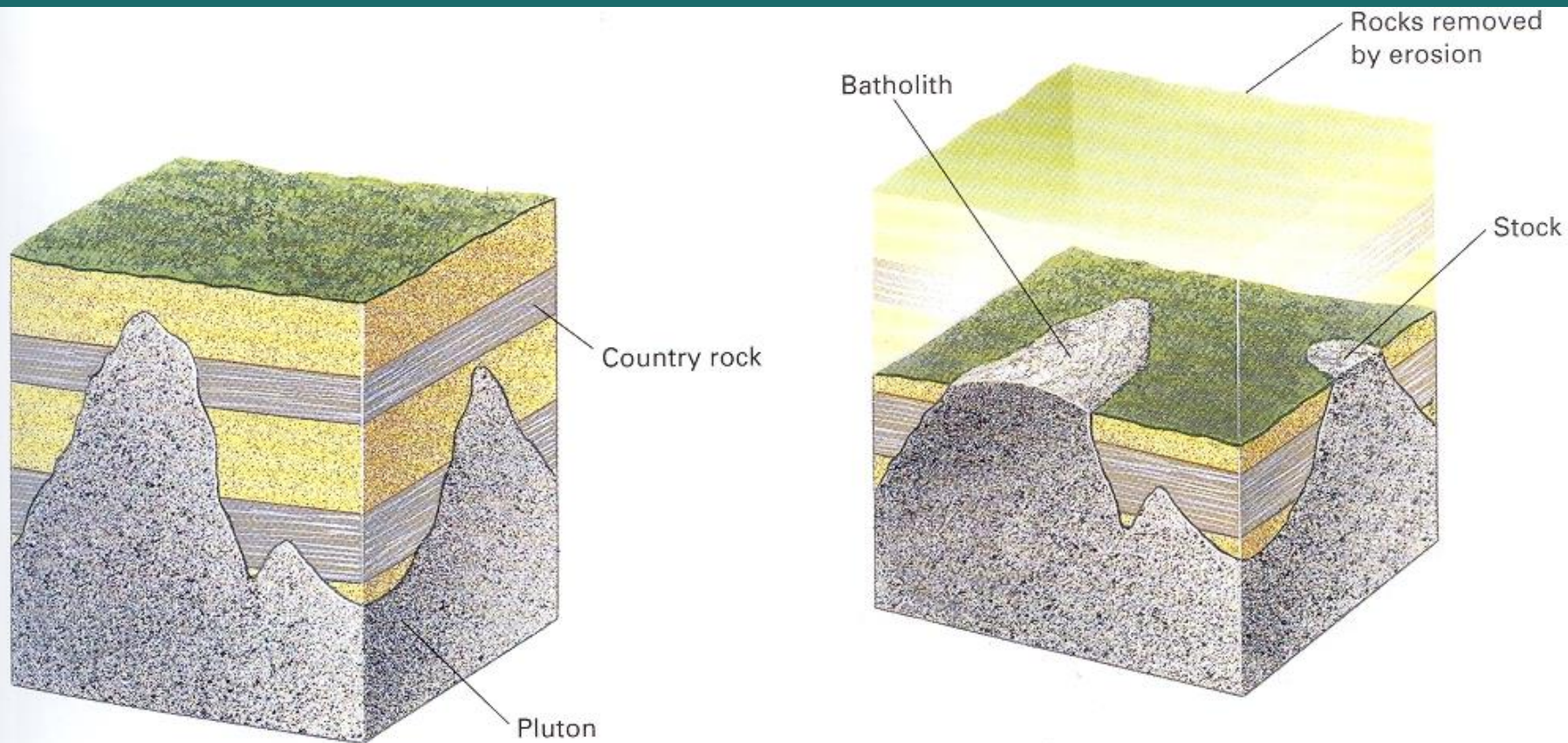


Figure 7-9 A pluton is any intrusive igneous rock. A batholith is a pluton with more than 100 square kilometers exposed at the Earth's surface. A stock is similar to a batholith but has a smaller surface area.

Oblici pojavljivanja magmatskih stijena

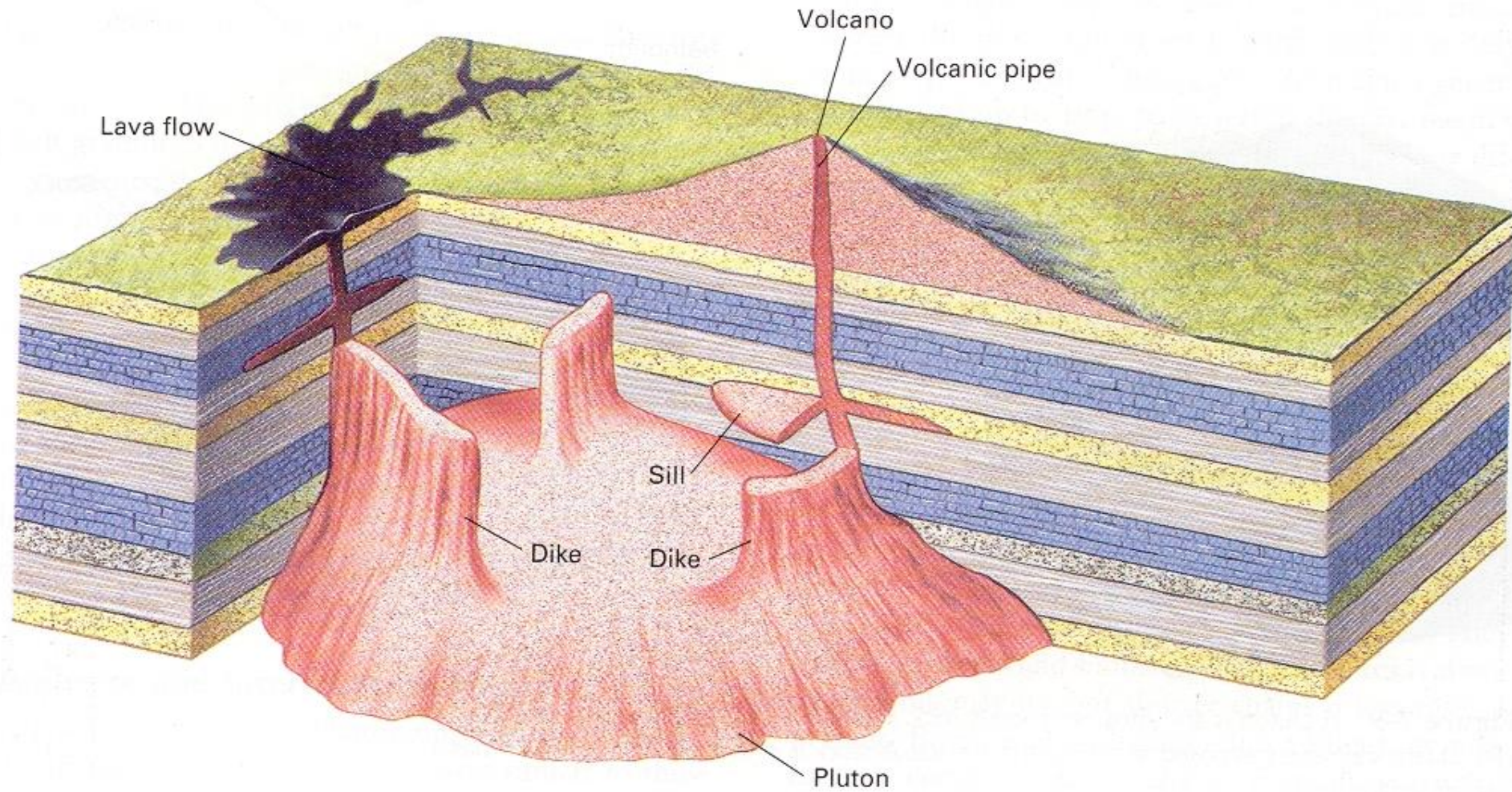
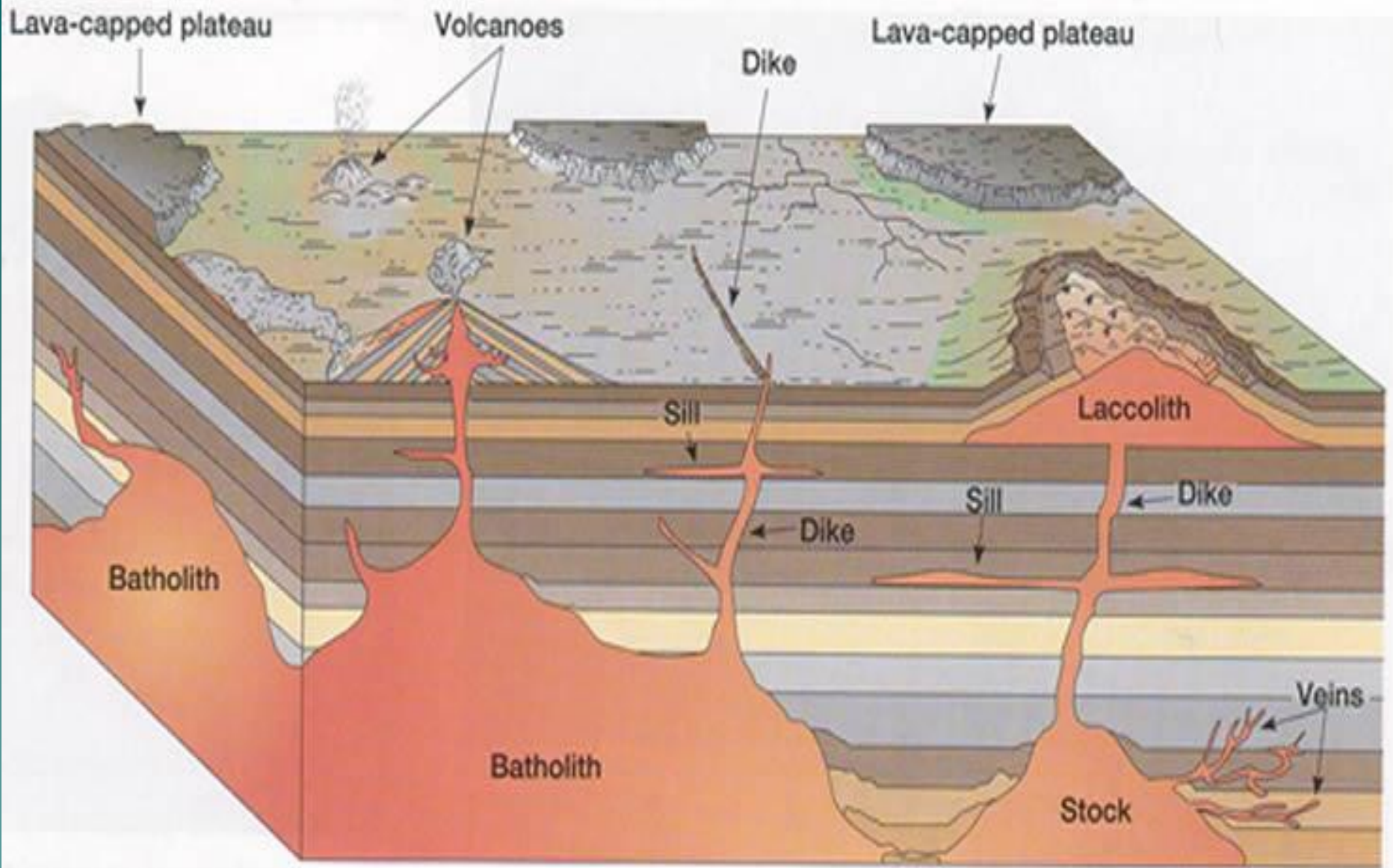
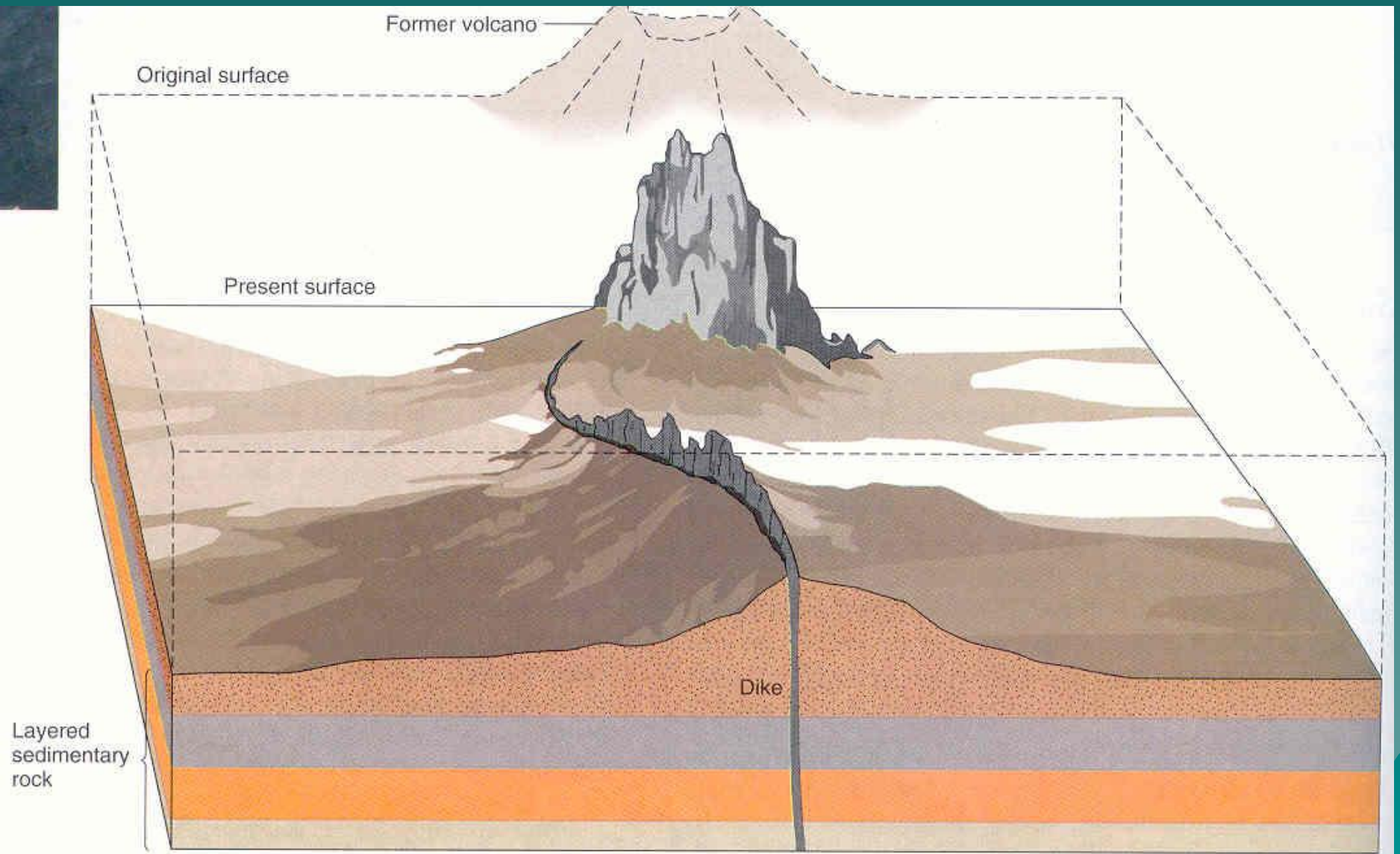
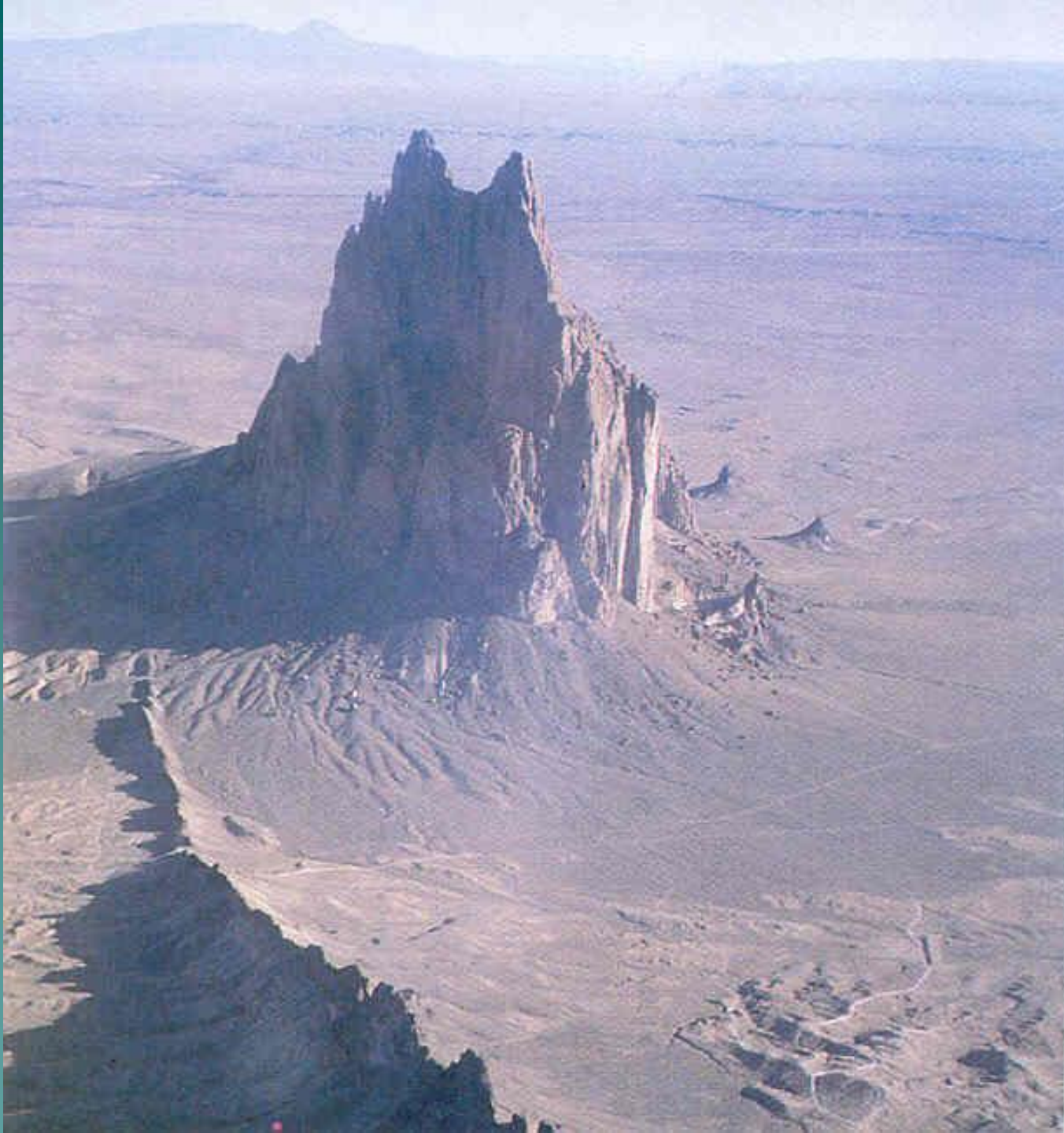
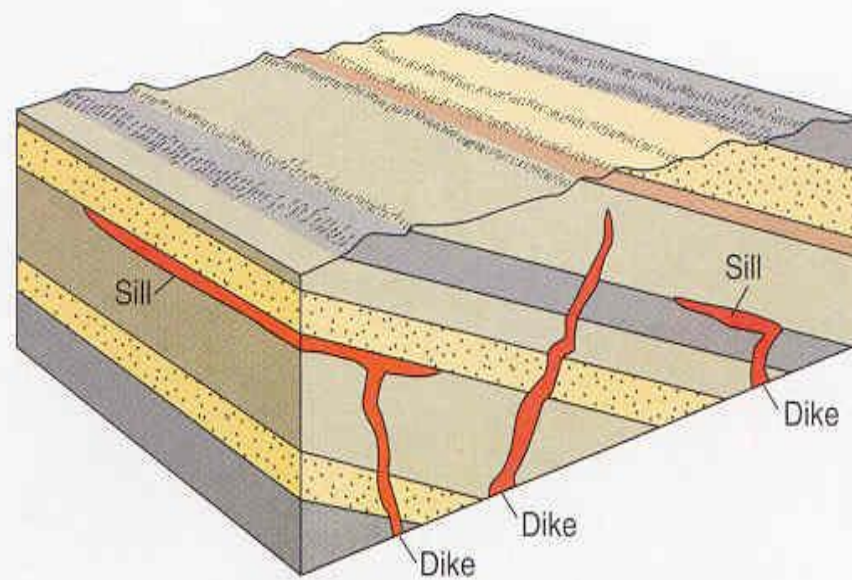
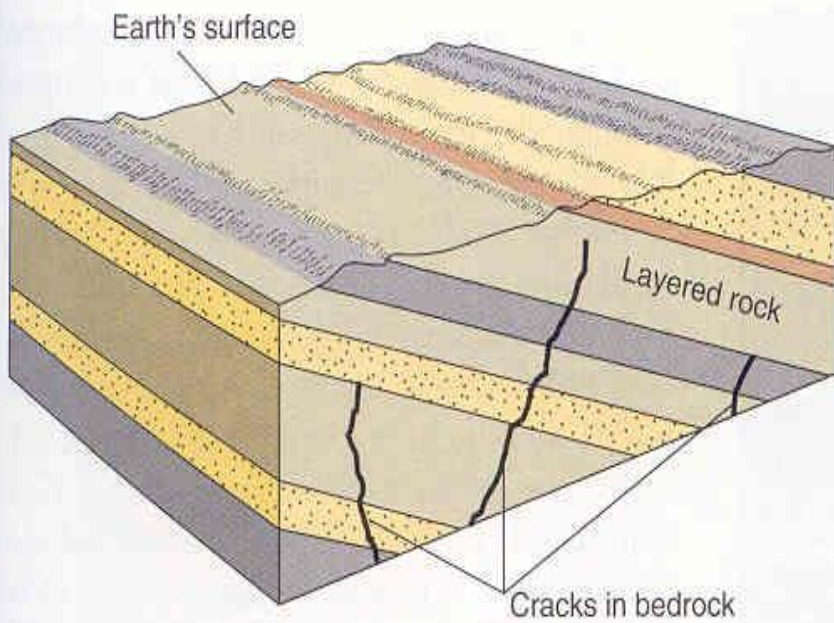


Figure 7-12 A large magma body may crystallize within the crust to form a pluton. Some of the magma may rise to the surface to form volcanoes and lava flows; some intrudes country rock to form dikes and sills.









Sil unutar sedimentnih stijena

