

MINERALOGIJA I PETROGRAFIJA

Studijski program GEOGRAFIJA

Godina I, Semestar I

DECEMBAR, 2020.

(11) – Stijene litosfere, metamorfne stijene - 2

dr Slobodan Radusinović, naučni saradnik UCG

Predavanja pripremljena na osnovu:

V. JOVANOVIĆ I D. SREĆKOVIĆ-BATOČANIN: **OSNOVI GEOLOGIJE**, ZAVOD ZA UDŽBENIKE – BEOGRAD, 2009

D. MILOVANOVIĆ: **OSNOVI PETROLOGIJE**, BEOGRAD, 2011 (NIJE PUBLIKOVANO)

S. IVANOVIĆ I G. NIKOLIĆ: **AUTORIZOVANA PREDAVANJA**, NIKŠIĆ, 2016/2017 (NIJE PUBLIKOVANO)

11. STIJENE LITOSFERE, METAMORFNE stijene (2)

Metamorfne stijene

Podjela metamorfnih stijena prema porijeklu

Regionalni dinamotermalni metamorfizam

Kontaktni metamorfizam

Klasifikacija regionalno metamorfnih stijena

Masivne metamorfne stijene

Eklogiti

Granuliti

Mermeri

Kvarciti

Kontaktni metamorfizam i kontaktno metamorfne stijene

Termokontaktni metamorfizam i termokontaktne stijene

Korniti

Bobičavi škriljci

Kontaktno metasomatske stijene

Skarnovi

Autometamorfizam

Serpentinizacija i serpentiniti

METAMORFNE STIJENE

Metamorfizam je niz fizičko-hemijskih procesa u stijeni nastalih u uslovima drugačijim od onih u kojima je stvarana.

- Stijene se prilagođavaju novim uslovima mijenjajući svoj mineralni i hemijski sastav i sklop: strukturu i teksturu.
- Najvažniji faktori metamorfnih promjena stijena su: **pritisak, temperatura i prisustvo fluida i gasova.**
- Uticaj atmosferilija, leda, soli, klime, vode koji se dešavaju na Zemljinoj površini ili maloj dubini ***ne pripadaju*** metamorfnim procesima.
- Intezitet metamorfnih promjena zavisi od pritiska, temperature, sastava stijene, njene strukture i teksture i prisustva fluida.
- Sve stijene nisu podjednako osjetljive na metamorfne promjene.
- Sedimentne stijene su uglavnom osjetljivije na uticaj metamorfizma od magmatskih stijena.

METAMORFNE STIJENE

Metamorfne stijene su one stijene u kojima je, usled promjene fizičko-hemijskih uslova, došlo do promjene njihovog prvobitnog sastava i/ili sklopa.

- Metamorfizam može biti **izohemijski** kad hemizam stene ostaje nepromijenjen (mijenja se sklop i/ili mineralni sastav) i **alohemijski** (mijenja se i hemizam stijene).

PODJELA METAMORFNIH STIJENA PREMA PORIJEKLU:

- **Orto metamorfne stijene** nastaju metamorfozom **magmatskih stijena**.
- **Para metamorfne stijene** nastaju metamorfozom **sedimentnih stijena**.
- Ako se neke magmatske ili sedimentne stijene samo **dijelom metamorfišu**, tj. kada se uočavaju reliktnne strukture, bez značajnijih promjena u mineralnom i hemijskom sastavu onda se njen naziv dobija tako što se na ime primarne stijene dodaje prefiks **meta**.
- Primjeri:
 - **Metapješčar**, stijena nastala metamorfozom pješčara.
 - **Metagabro**, stijena nastala metamorfozom gabra itd.

METAMORFNE STIJENE

REGIONALNI DINAMOTERMALNI METAMORFIZAM

U Zemljinoj kori usled temperaturnog gradijenta, tj. sa porastom dubine, stijene su zagrijane a zbog težine gornjih slojeva izložene pritiscima.

Dejstvom tektonskih pokreta povećavaju se pritisci i temperature.

- Ako se metamorfizam dešava na velikim područjima naziva se **regionalni dinamotermalni metamorfizam**.
- Temperature u ovom metamorfizmu kreću se od 200 do 800°C a pritisak od 2-10 kbar. Usmjereni pritisak (stres) ima značajnu ulogu samo u gornjim djelovima litosfere.
- Kada pritisak i temperatura dovoljno porastu stijene se djelimično do potpuno stapaju kada se stvaraju **migmatiti**.
- Ova vrsta metamorfizma vezana za najviše pritiske i temperature naziva se **ultrametamorfizam**. Često se javlja na velikom prostoru, površine i nekoliko desetina kvadratnih kilometara.
- **Retrogradni metamorfizam** ili **dijaftoreza**. Kada metamorfna stijena nastala u područjima visokih pritisaka i temperatura tektonskim pokretima dođe u pliće nivoe gdje su niži pritisci i temperature, ona se mijenja prilagođavajući se novim uslovima. Stvaraju se novi minerali stabilni u uslovima nižeg stepena metamorfizma.

METAMORFNE STIJENE

REGIONALNI DINAMOTERMALNI METAMORFIZAM

- **Hidrotermalni metamorfizam** označava promjene u stijenama nastale dejstvom hidrotermalnih rastvora.
- **Autometamorfizam** označava promjene u stijenama izazvane sopstvenim lakoisparljivim komponentama, u uslovima povećanja temperature i pritiska.
- **Kataklastični metamorfizam** se javlja u područjima tektonskih zona i velikih rasjeda. Pri ovom tipu metamorfizma stijene se mehanički drobe, bez značajnije promjene u mineralnom sastavu.

KONTAKTNI METAMORFIZAM

- **Kontaktni metamorfizam** javlja se intrudovanjem, tj. utiskivanjem magme ili izlivanjem lave, kada, u kontaktu sa okolnim stijenama, magma predaje toplotu ili sa tim stijenama reaguje, pa razlikujemo:
- **Termokontaktni metamorfizam** - magma okolnim stijenama predaje toplotu usled čega nastaju promjene u okolnoj stijeni i
- **Kontaktno metasomatski metamorfizam** - pored predaje toplote dolazi i do razmjene materije.

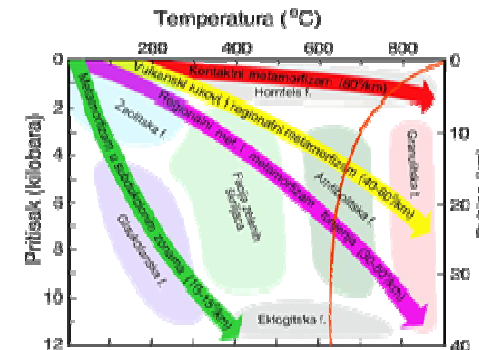
METAMORFNE STIJENE

KONTAKTNI METAMORFIZAM

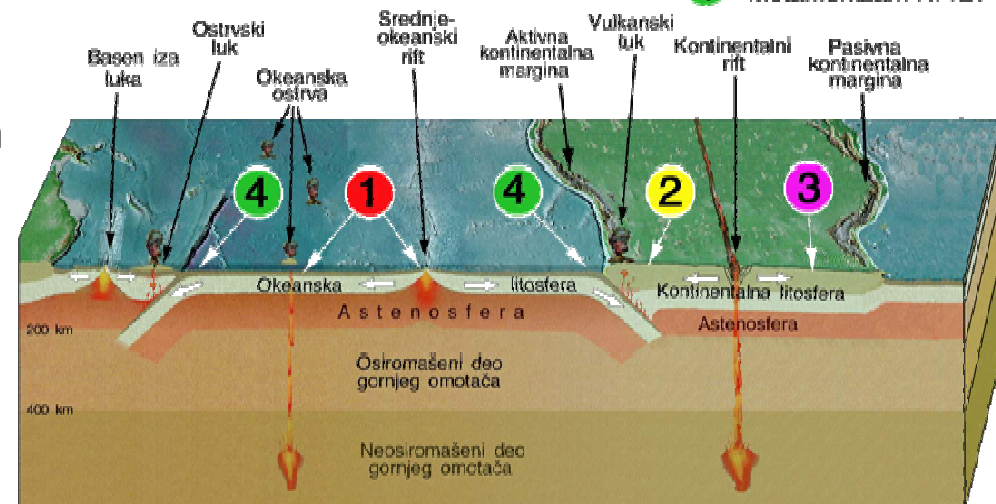
- Za kontaktno metasomatske promjene neophodno je da magma sadrži dovoljno lakoisparljivih komponenti, kao i da okolne stijene budu dovoljno porozne i podložne hemijskim promjenama (npr. karbonatni sedimenti).
- Do termokontaktne promjena dolazi ukoliko neki od ovih uslova nijesu ispunjeni, npr. na kontaktu magme sa glinovitim sedimentima fluidi ne mogu da cirkulišu.
- Pri kontaktnom metamorfizmu formira se zona u kojoj se uspostavlja ravnoteža između pregrijanog magmatskog rastopa i hladnih okolnih stijena - **kontaktni oreol**.

VRSTE METAMORFIZMA:

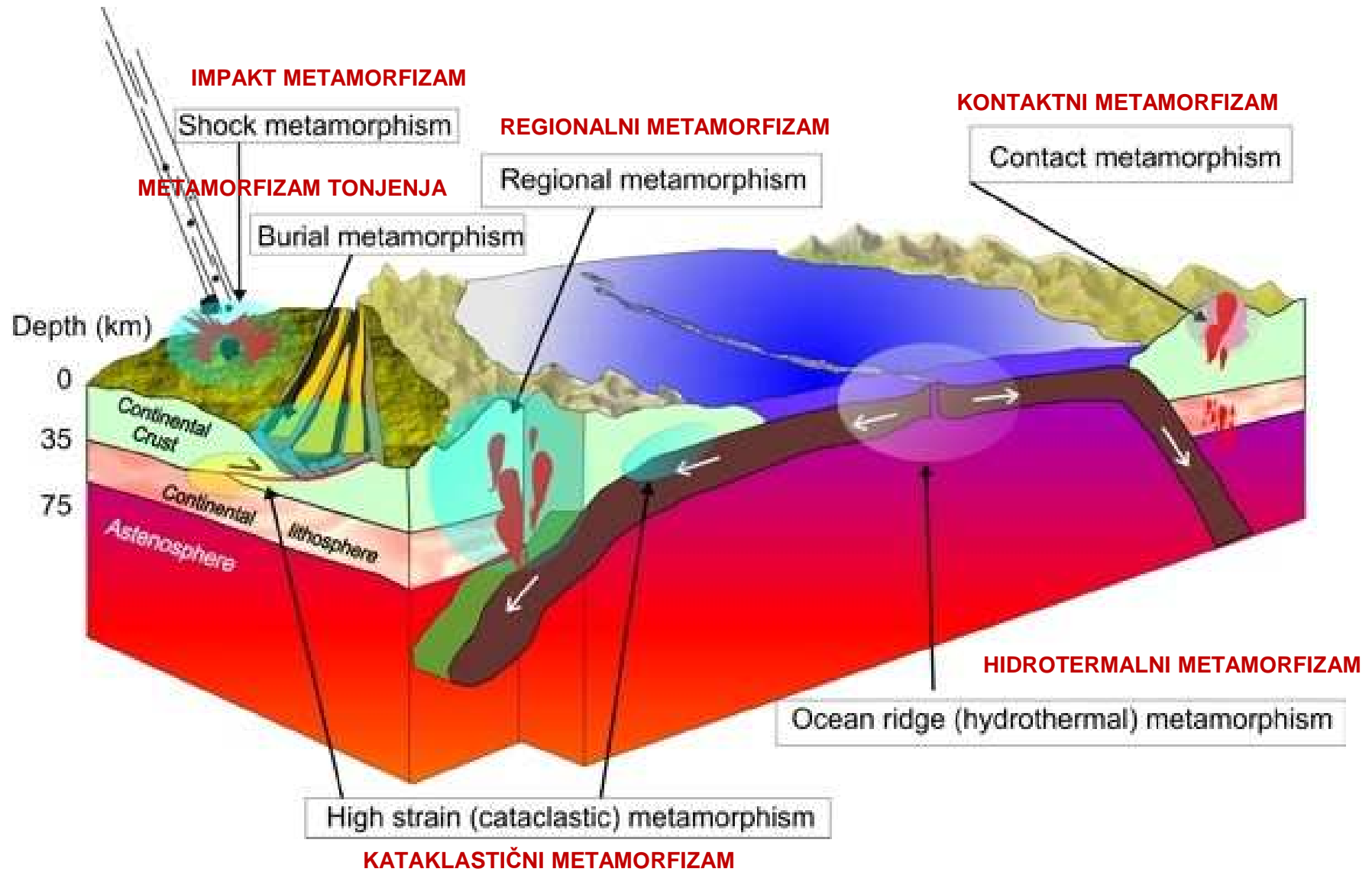
REGIONALNI METAMORFIZAM
 METAMORFIZAM OKEANSKOG DNA
 METAMORFIZAM TONJENJA
 KONTAKTNI METAMORFIZAM
 RETROGRADNI METAMORFIZAM
 KATAKLASTIČNI METAMORFIZAM
 IMPAKT METAMORFIZAM
 PIROMETAMORFIZAM
 ULTRAMETAMORFIZAM



- 1 Metamorfizam LP/HT
- 2 Metamorfizam HP/HT
- 3 Metamorfizam HP/HT-a
- 4 Metamorfizam HP/LT



METAMORFNE STIJENE



METAMORFNE STIJENE

KLASIFIKACIJA REGIONALNO METAMORFNIH STIJENA

- Različiti su kriterijumi za podjelu regionalno metamorfnih stijena: prema stepenu metamorfizma, mineralnom sastavu, strukturi, teksturi, stepenu kristaliniteta itd.
- Jedna od često korišćenih klasifikacija bazira na *teksturnim karakteristikama* gdje se stijene regionalnog metamorfizma dijele na **škriljave** i **masivne metamorfne stijene**.
- Stijene prve grupe nazivamo **kristalasti škriljci** a druge grupe **masivne metamorfne stijene**.
- Oštra granica između ove dvije grupe stijena ne postoji jer stijene određenog sastava u zavisnosti od vrste pritiska, usmerenog ili hidrostatičkog mogu biti masivne ili škriljave
- Primjer: mermer je masivna stijena, a ako nastaje u područjima usmjerenih pritiska stijena zadobija škriljavu teksturu kada se stvara mermerni škriljac.

- Podjela regionalno metamorfnih stijena **prema teksturnim karakteristikama:**

- **kristalasti škriljci**

- *grupa škriljaca*
- *filiti, mikašisti*
- *gnajsevi, amfiboliti*

- **masivne metamorfne stijene**

- *eklogiti*
- *granuliti*
- *mermeri*
- *kvarciti*

- Podjela regionalno metamorfnih stijena **prema stepenu kristaliniteta:**

- **stijene visokog kristaliniteta**
- **stijene niskog kristaliniteta**

METAMORFNE STIJENE

MASIVNE METAMORFNE STIJENE

EKLOGITI

- Eklogiti nastaju metamorfozom bazičnih stijena u odsustvu vode (u tzv. suvim sistemima), na vrlo visokim pritiscima i temperaturama, u eklogitskoj faciji, na temperaturama iznad 700°C i pritiscima većim od 8 kbara.
- Izgrađeni su od **granata** i **omfacita** (natrijskog piroksena).
- Eklogiti su teške stijene, specifične gustine preko 3, zbog velikog sadržaja granata.
- Od granata javlja se **almandin** ili **pirop** (rijetko) koji su obično idiomorfno razvijeni i veoma krupni.
- U ovim stijenama mogu se javiti i male količine plagioklasa, hornblende, biotita i kvarca.
- Kao sporedni sastojci prisutni su sfen, rutil, kvarc, magnetit itd.
- Struktura eklogita je **granoblastična** sa elementima **porfiroblastične** i **pojkioblastične**.
- Tekstura ovih stijena je **masivna**.
- Eklogiti se javljaju kao sočiva u gnajsevima (tzv. obični eklogiti) kada su nastali metamorfozom bazičnih stijena koji su izlivene ili intrudovane u sedimente.
- Javljaju se i kao žice u peridotitima, ali i u subdukcionim zonama.



Eklogit, Bojnik

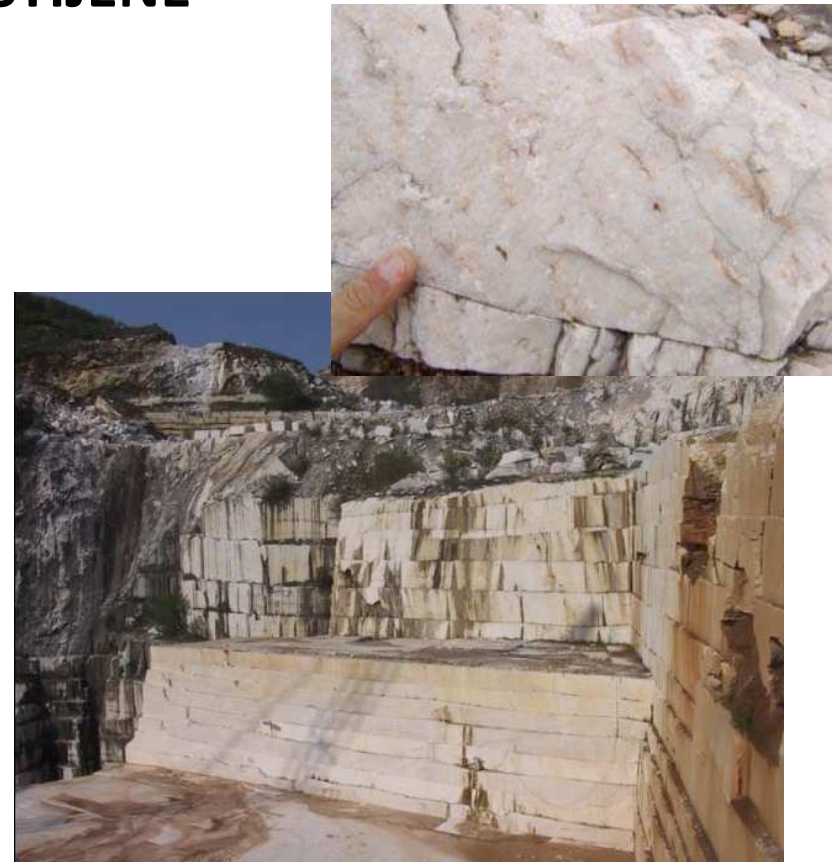
Preuzeto iz: Osnovi petrologije, D. Milovanović

pojkioblastična struktura nastaje tako što jedan mineral u toku rasta (blasteze) uklapa druge (starije) minerale

METAMORFNE STIJENE

MERMERI

- Mermeri su stijene **masivne** teksture nastale regionalnom **metamorfozom krečnjaka i dolomita**, a mogu nastati i termokontaktno.
- **Granoblastične** su strukture, a izgrađeni su od **kalcita ili dolomita**.
- Teksture su **masivne**, ali postoje i **škriljavi** mermeri kada ih obično nazivamo **mermernim škriljcima**.
- U mermerima se, kao sporedni minerali javljaju muskovit, kvarc, albit, hlorit, grafit itd. Sadržaj muskovita može biti veliki ako je mermer nastao metamorfozom glinovitog krečnjaka.
- Mermere bogate liskunima koji lokalno imaju elemente lepidoblastične strukture nazivamo **cipolini**.
- Boja mermera zavisi od njegove čistoće. Ako su čisti bijele su boje i saharoidnog sjaja.
- Usled sadržaja primjesa, oksida i hidroksida gvožđa, mangana mogu biti zelenkasti, plavkasti, crvenkasti, sivi itd.
- Upotrebljavaju se kao arhitektonski, dekorativni kamen, kamen u vajarstvu, hemijskoj industriji itd. Sitnozrni mermeri su najbolji kao dekorativan kamen i za izradu skulptura.
- Štetne primjese su pirit, magnetit, kvarc i organska materija.



*Mermer, venčac kod Aranđelovca
Preuzeto iz: Osnovi petrologije, D. Milovanović*

MERMERİ



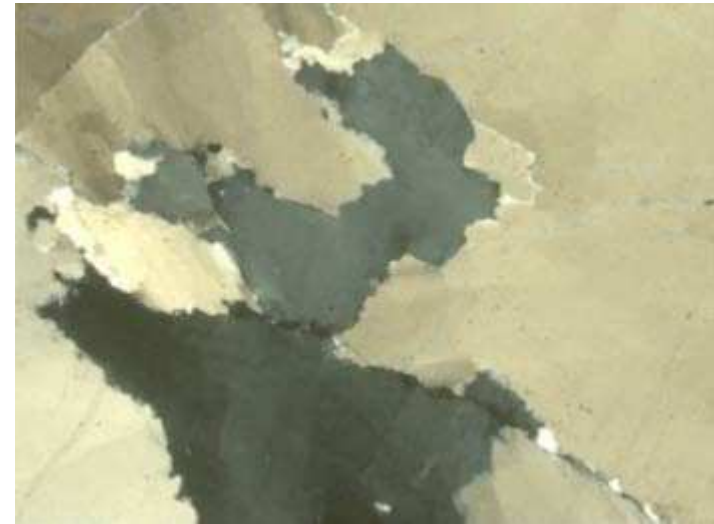
MERMERI



METAMORFNE STIJENE

KVARCITI

- Kvarciti su metamorfne stijene u kojima kvarc čini više od 80% mase stijene.
- To su izrazito **para stijene** nastale metamorfozom kvarcnih pješčara sa silicijskim vezivom ili od rožnaca.
- Kvarciti su **granoblastične strukture**. Ponekad mogu imati sačuvanu strukturu kvarcnih pješčara (blastopsamitsku).
- Teksture su **masivne** mada ima i škriljavih kvarcita. Kvarcna zrna su u ovim stijenama često zupčasto srasla što stijeni daje veliku čvrstinu.
- Kvarciti su monomineralne stijene **izgrađene od kvarca**.
- Čisti kvarciti su bijele boje ali su najčešće, zbog primjesa, sivi, mrki ili crni.
- Pojavom liskuna prelaze u kvarc-mikašiste.
- Kao sporedni sastojci u kvarcitima se javljaju disten, grafit, silimanit, epidot i dr.
- Kvarciti se koriste u metalurgiji za proizvodnju vatrostalnih opeka. U hemijskoj industriji primjenjuju se u izradi različitih materijala otpornih na dejstvo kisjelina.



Kvarcit, Užice

Preuzeto iz: Osnovi petrologije, D. Milovanović

METAMORFNE STIJENE

KONTAKTNI METAMORFIZAM I KONTAKTNO METAMORFNE STIJENE

Kontaktni metamorfizam podrazumijeva promjene na okolnim stijenama pod uticajem magme i lave.

- Lokalnog je značaja i ograničen je na zonu kontakta oko magme gdje se stvaraju ove stijene.
- Kontaktne metamorfne stijene nemaju škriljavost, ali su često trakaste tj. zonalne zbog naglog pada temperature od kontakta sa magmom ili lavom do neizmenjene stijene.
- Prema karakteru promjena kontaktni metamorfizam može biti **izohemijski** i **alohemijski**.
 - **Izohemijski metamorfizam** podrazumijeva promjene pod uticajem toplote magmatskog tijela **bez hemijske reakcije** sa okolnom stijenom. Ovaj metamorfizam naziva se i **termometamorfizam**.
 - **Alohemijski metamorfizam** gdje dolazi do reakcije magme i okolnih stijena, gdje spadaju **kontaktne metasomatske stijene**.
- Između magme i okolnih, nezagrijanih ili delom zagrijanih stijena formira se zona u kojoj se obrazuju nove stabilne asocijacije minerala nastale u novonastalim uslovima.
- Veličina i sastav **kontaktne oreole** zavise od vrste magme i sastava okolnih stijena.
- Kontakne promjene su intenzivnije ukoliko je veća razlika u hemijskom sastavu magme i okolnih stijena.

METAMORFNE STIJENE

TERMOKONTAKTNI METAMORFIZAM I TERMOKONTAKTNE STIJENE

- Stijene termokontaktnog metamorfizma razvijaju se u kontaktnim oreolima oko dubljih ili plićih intruzija ako **nije došlo do privođenja materija iz magme u okolne stijene, tj. kontaktni uticaj uslovljen je samo privođenjem toplote u okolne stijene.**
- Termometamorfizam se javlja na kontaktu magmatski intruzija različitog sastava, od bazičnih do kiselih magmi i klastičnih, uglavnom glinovitih sedimenata, koji su praktično neprobojne sredine za migraciju komponenti iz magme.
- Pri termokontaktnom metamorfizmu stvara se zona izmijenjenih stijena, tj. rekristalizacija postojećih i kristalizacija novih minerala, izmjena strukturno-teksturnih karakteristika stijena, pri čemu nema promjene u njihovom hemijskom sastavu.
- Najbolje razvijeni termokontaktne oreoli su na kontaktu kiselih magmi i glinaca gdje se razvijaju sledeće zone:
 - **zona injekcionih, miješanih stijena** (granita i jako termometamorfisanih glinaca, širine par a najviše nekoliko desetina metara);
 - **zona kornita;**
 - **zona bobičavih škriljaca;**
 - **zona pjegavih škriljaca i**
 - **zona nepromijenjenih stijena.**

METAMORFNE STIJENE

TERMOKONTAKTNE STIJENE

KORNITI

- Korniti su termokontaktne stijene koje nastaju na samom kontaktu magme i okolnih, glinovitih stijena, odmah iza zone injekcionih i miješanih stijena.
- Prema stepenu metamorfizma odgovaraju temperaturama iznad 600°C i pritiscima do 3 kbara.
- Obično su sitnozrne stijene, tamne boje i veoma tvrde. Teksture su **masivne** ili **trakaste**.
- Izgrađeni su od **biotita, augita, kordijerita, andaluzita, feldspata (ortoklas, prelazni do bazični plagioklas), hornblende, kvarca itd.** U ovim stijenama sreću se i **granati**.
- Strukture su **granoblastične** (koja se često naziva i **kornitska**), ponekad **porfiroblastične**, kada se u stijeni javljaju porfiroblasti andaluzita, kordijerita i feldspata. Osnova stijene (matriks) izgrađen je od sitnih zrna feldspata, kvarca, muskovita (sericita), biotita, u kojoj, kao porfiroblasti, leže pomenuti minerali.
- U kornitima koji su udaljeniji od kontakta, naročito ako su nastali metamorfozom pješčara, uočavaju se i reliktno strukture, sačuvani klasti kvarca, feldspata, liskuna itd.
- Zona **kornita** udaljavajući se od kontakta postepeno prelazi u zonu **bobičavih škriljaca**.



KORNITI



METAMORFNE STIJENE

TERMOKONTAKTNE STIJENE

BOBIČAVI ŠKRILJCI

- Bobičavi škriljci su stijene **porfiroblastične stijene, bobičave tekture**. Bobice obično predstavljaju **porfiroblaste kordijerita, andaluzita, feldspata** itd. ponekad nepotpuno razvijenih a koji leže u sitnozrnoj lepidoblastičnoj osnovi (to su ustvari filiti sa porfiroblastima pomenutih minerala).
- Udaljavajući se od kontakta veličina bobica i kristalinitet osnove se smanjuju pa se u stijeni javljaju samo začeci porfiroblasta, **pjege** koje leže u sitnozrnoj osnovnoj masi kada stijenu nazivamo **pjegavi škriljac**. Idući ka obodu oreola ove stijene postepeno prelaze u stijene koje nijesu metamorfisane pod uticajem temperature magmatskog plutona.
- Bobičavi škriljci mogu sresti i na samom kontaktu kada temperatura magme nije dovoljno visoka za potpunu rekristalizaciju pelitskih stijena (pri čemu su stvoreni bobičavi škriljci umesto kornita).
- Termokontaktom metamorfozom karbonatnih stijena stvaraju se **mermeri** koji su obično krupnozrni i lako se troše (osipaju).



*Bobičavi škriljac, Radalj
Preuzeto iz: Osnovi petrologije, D. Milovanović*

BOBIČAVI ŠKRILJCI



METAMORFNE STIJENE

KONTAKTNO METASOMATSKE STIJENE

- Kontaktno metasomatske stijene nastaju tako što magma, osim predavanja toplote, **vrši sa okolnim stijenama razmjenu lakoisparljivih i teškoisparljivih sastojaka.**
- Reakcije su u ovom procesu složenije i intenzivnije ako je razlika u hemizmu između magme i okolnih stijena veća.
- Najintenzivnija kontaktna metasomatoza vrši se između **kisjelih vlažnih magmatskih stijena i karbonatnih stijena.**
- Metasomatski procesi pritom se odvijaju u oba smjera, pri čemu se mijenjaju okolna stijena i magmatska stijena (uglavnom spoljni djelovi).
- Stijene stvorene prilikom metasomatskih procesa nazivamo **skarnovima.**

SKARNOVI

- Nastaju na kontaktu kisjelih, granitskih magmi bogatih lakoisparljivom komponentom i krečnjaka.
- Za stvaranje skarnova sistem mora biti otvoren kako bi se oslobodio CO₂ iz karbonata a kalcijum, magnezijum i gvožđe (zavisno od sastava karbonata), ušli u reakciju sa magmom.
- Skarnovi su srednjezrne do grubozrne stijene, **masivne** do **trakaste** teksture.
- Boje su, zavisno od mineralnog sastava, zelene, bijele, crvene, ponekad i crne.

METAMORFNE STIJENE

KONTAKTNO METASOMATSKE STIJENE

SKARNOVI

- Zavisno od karaktera magme kao i vrste karbonata (kalcita ili dolomita) skarnovi mogu imati veoma raznolik mineralni sastav. Pri tome se, zbog stalnog temperaturnog gradijenta u kontaktnom oreolu javlja zonarnost u rasporedu određenih minerala koji grade skarnove.
- Skarnovi formirani **neposredno uz kontakt** sa velikim i dubokom intruzijama mogu biti izgrađeni od **augita, diopsida, hedenbergita, granata** (grosularsko-andraditskog tipa), **feldspata, vezuvijana, volastonita, magnetita** itd.
- Skarnovi koji su stvoreni dalje od kontakta sadrže sledeće minerale: **tremolit, aktinolit, epidot, cojsit, plagioklas** (*albit* do *andezin*), malo **volastonita** i **granata** itd.



*Skarnovi, Jaram
Preuzeto iz: Osnovi petrologije, D. Milovanović*

- Strukture su **granoblastične**, rijetko **nematoblastične**, **porfiroblastične** i **pojkiloblastične**.
- Skarnovi su nosioci orudnjenja. U unutrašnjoj zoni skarnova, neposredno uz kontakt, mogu se stvoriti **magnetit, volframit** i **molibdenit** i obrazovati rudna ležišta.
- Između skarnova i kornita postoje postupni prelazi. Takve stijene nazivamo **skarnoidi**.

SKARNOVI



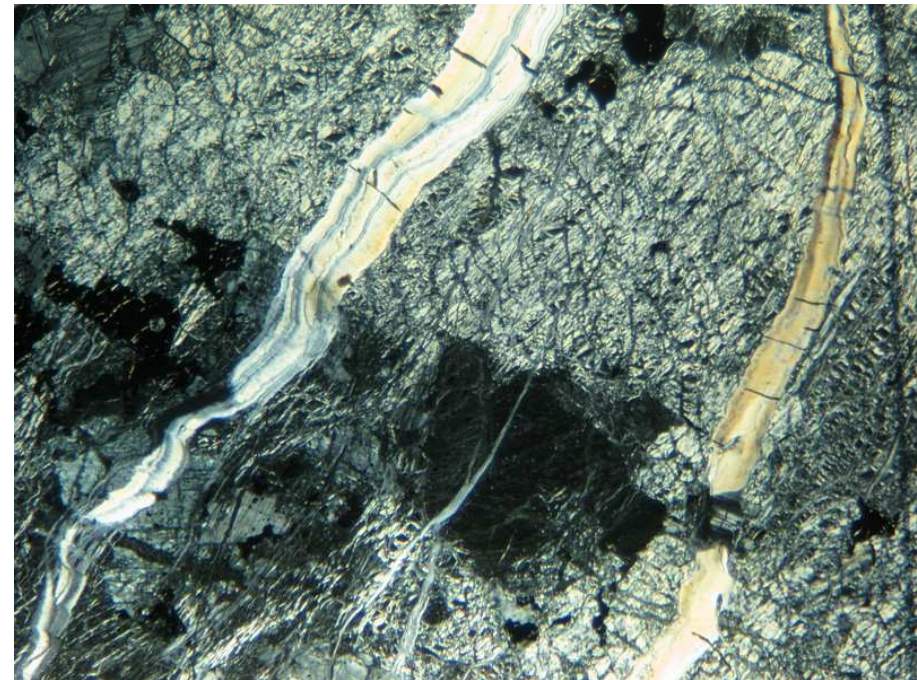
METAMORFNE STIJENE

AUTOMETAMORFIZAM

Pod pojmom **autometamorfizam** podrazumijevaju se promjene na stijenama nastale uticajem **sopstvenih lakoisparljivih sastojaka (H₂O, CO₂ itd.)** koje se obično dešavaju na kraju procesa konsolidacije intruzivnog tijela ili neposredno poslije toga.

SERPENTINIZACIJA I SERPENTINITI

- Serpentiniti su stijene koje nastaju dejstvom vode na peridotite.
- Ako je voda primarno bila u peridotitima na temperaturama od oko 400°C ona reaguje sa olivinom stvarajući serpentin.
- Sadržaj vode u peridotitima je mali zbog čega ovaj tip serpentinizacije nema velikog značaja.
- Preobražaj peridotita u serpeninite nastaje i pod uticajem hidrotermalnih rastvora ili regionalnom metamorfozom a u prisustvu vode kada nastaju velike mase ovih stijena.



Fotografija:

<http://stonecontract.eu/wp-content/uploads/2015/09/serpentinit-01.jpg>

METAMORFNE STIJENE

SERPENTINIZACIJA I SERPENTINITI

- Serpentiniti su izgrađeni su **serpentina** koji ima mrežastu građu ako je nastao od **olivina** ili je rešetkast kada je nastao od **piroksena**.
- Od sporednih sastojaka sadrže **hromit**, **magnetit**, a od sekundarnih azbest, talk, magnezit, ponekad i amorfnu siliciju i kalcit koji su prinijeti u stijenu.
- Serpentiniti su **masivne teksture**, ima i **škriljavih**, kada ih nazivamo **serpentinskim škriljcima**.
- Boje su tamno zelene, zelene ili šarene.
- Često su ispresijecani žicama hrizotila, azbesta i drugih sekundarnih minerala.
- Značajni su kao nosioci korisnih mineralnih sirovina. U njima se javljaju ležišta **talka**, **azbesta** i **magnezita**.

