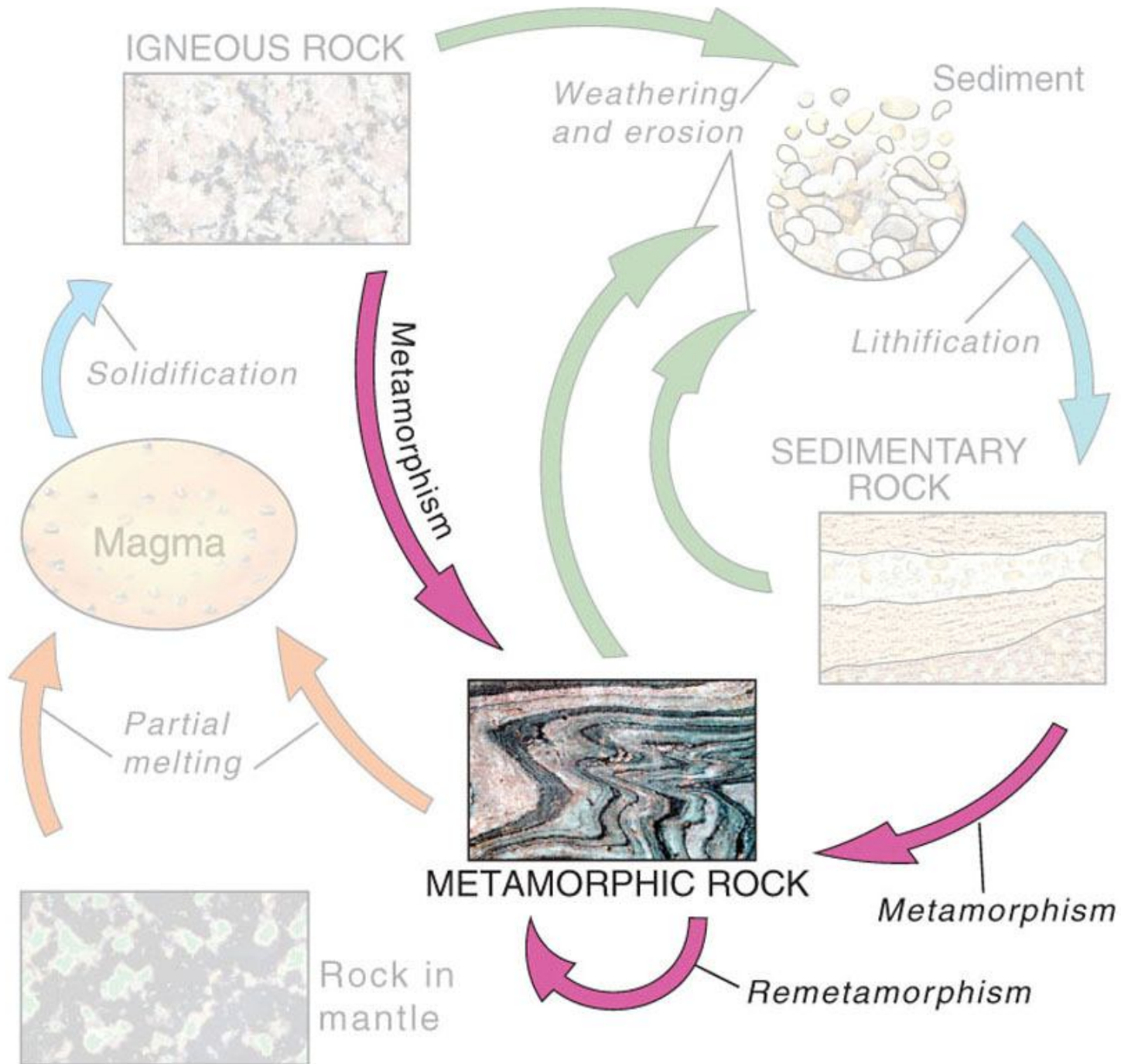


METAMORFNE KAMNINE





Zapomni si

1. Kamnine se spremenijo zaradi delovanja toplote, tlaka in tekočin.
2. Zemljina toplota izvira iz prvotne toplote in radioaktivnega razpada.
3. Tlak je posledica teže zgoraj ležečih kamnin = globine.
4. Med metamorfozo prvotni minerali preidejo v minerale, obstojne pri novih pogojih temperature in tlaka. Kamnina lahko postane skrilava.
5. V različnih pogojih metamorfoze nastanejo različne kamnine in minerali.
6. Metamorfne kamnine govorijo o pogojih temperature in tlaka v Zemljini skorji.

Vrsta kamnine	Kako jo klasificiramo?	Kaj nam pove?
magmatske	struktura	tektonsko okolje
	sestava	zgodovina ohlajanja
sedimentne	velikost zrn	energija okolja
	kemijska sestava	okolje na površju Zemlje
metamorfne	tekstura	stopnja spremembe
	minerana sestava	temperatura, tlak
	kemijska sestava	prvotna kamnina

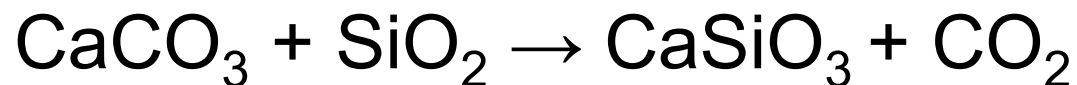
Spremembe kamnin

- **Preperevanje**
 - Površje
- **Diageneza**
 - Sedimentne kamnine
- **Metamorfoza**
 - Temperatura $> 200^{\circ}\text{C}$
 - Pogoji različni od tistih, blizu površja.

- Kar se na površju Zemlje zdi nenormalno, je običajno in možno v notranjosti:
 - Trdne snovi lahko tečejo.
 - Med trdnimi snovmi lahko potekajo kemične reakcije.
 - Neka snov ima lahko več različnih atomskih struktur.

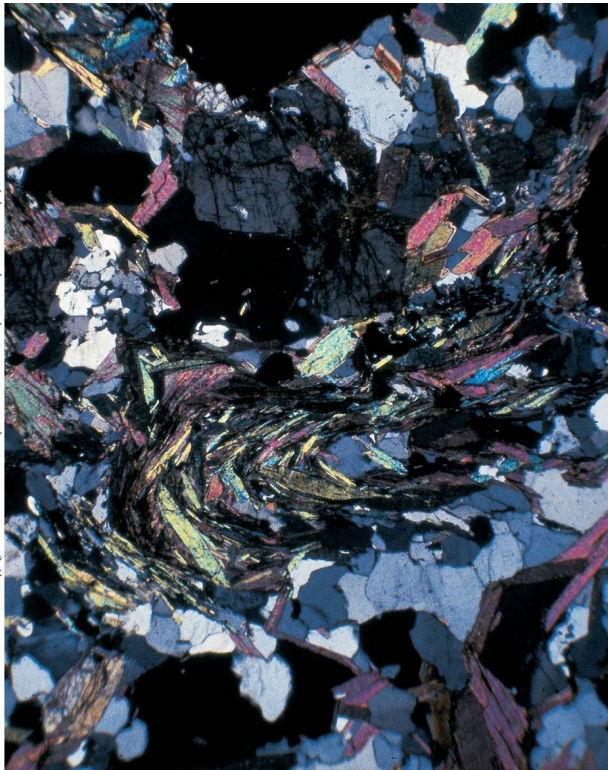
Metamorfoza

- Sprememba sestave in teksture kamnine v trdnem stanju v Zemljini notranjosti, zaradi povišane temperature in/ali tlaka in/ali delovanja tekočin.
- Kemijske prvine, vezane v mineralih izvorne kamnine, se prerazporedijo v nove minerale, ki so v ravnotežju z novimi p-T pogoji.



kalcit kremen wollastonit

- Zaradi visokih temperatur so spremembe teksture kamnin plastične (gubanje) in ne toge.



Dejavniki, ki določajo značilnosti metamorfnih kamnin

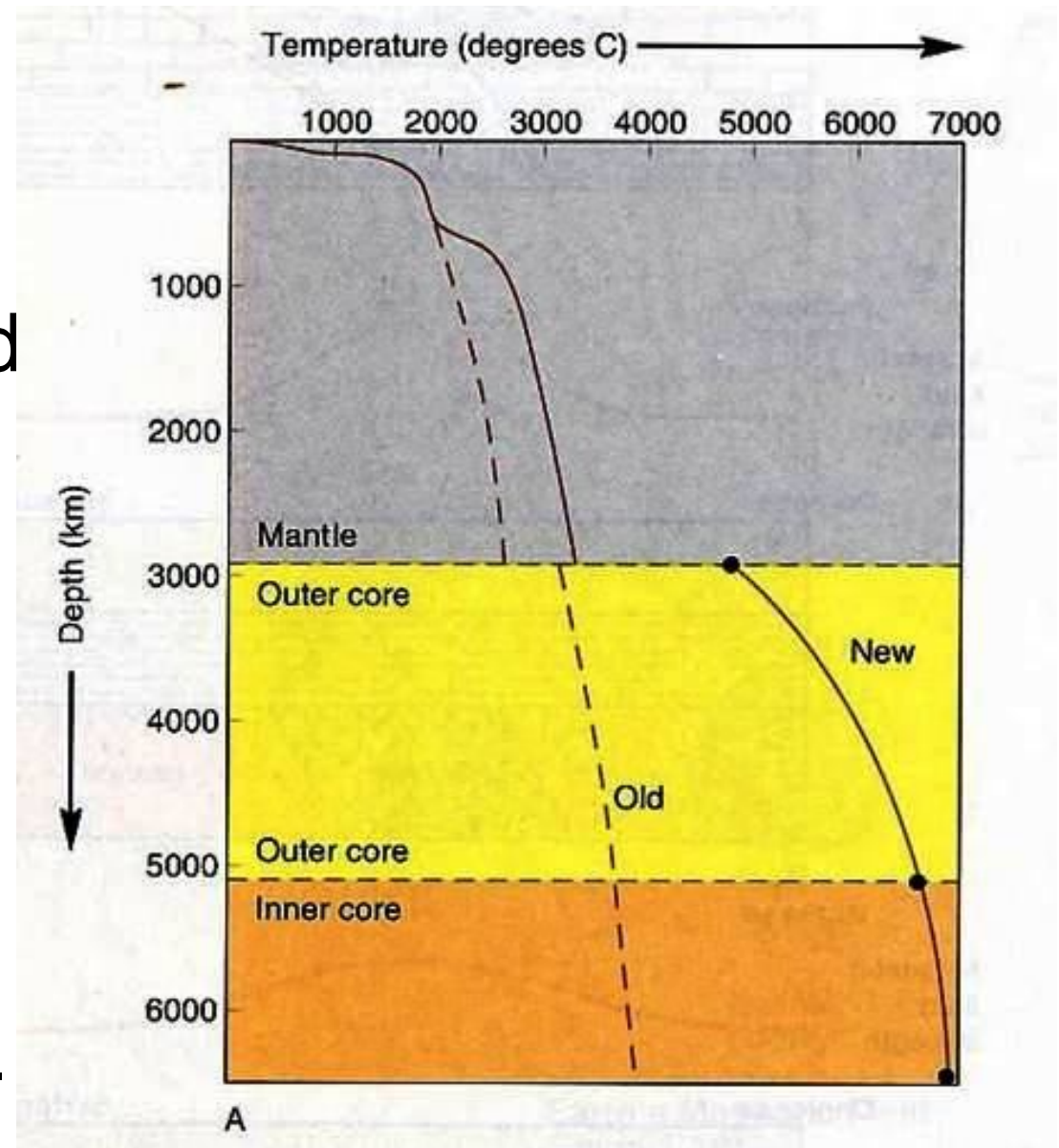
- Sestava prvotne (izvorne, matične) kamnine.
- Temperatura.
- Tlak.
- Tekočine.
- Čas.

Sestava prvotne kamnine

- Metamorfoza je običajno izokemična – v sistem ne vstopajo ali iz njega ne izstopajo nobene kemijske prvine ali spojine, razen morda vode.
- Mineralna sestava metamorfne kamnine je zato pogojena s kemično sestavo izvorne kamnine.

Temperatura

- Prvotna toplota Zemlje.
- Radioaktivni razpad
 - U, Th, K,...
- Naraščanje temperature z globino:
 - 25 °C/km blizu površja.
 - 1-2 °C/km v globini.



Temperatura

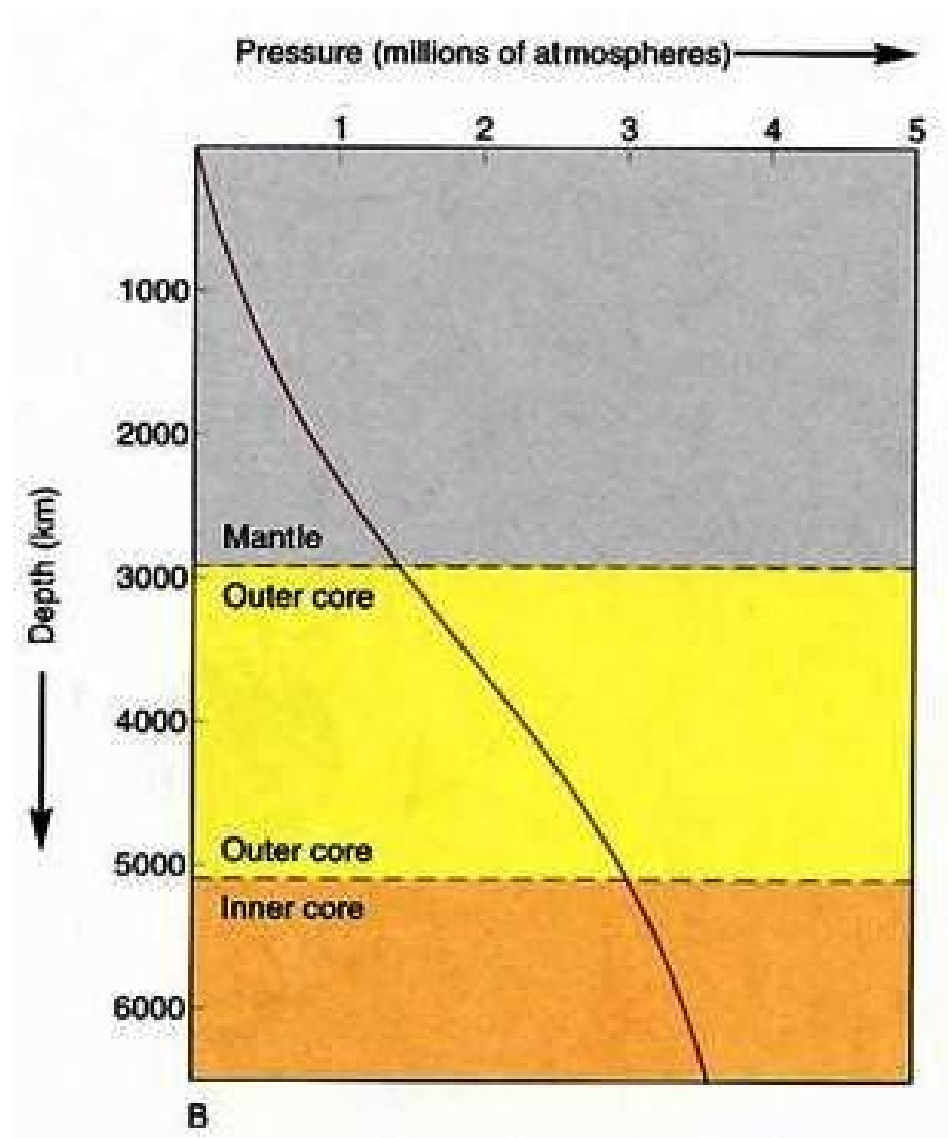
- Večina mineralov je stabilnih preko temperaturnega območja 100 ali 200 °C, razen kremena, ki je stabilen kar v razponu 800 °C.
- Iz poznavanja območja temperature stabilnosti minerala, lahko sklepamo na doseženo temperaturo metamorfoze.
- Višjetemperaturni minerali so običajno manj gosti od njihovih nizkotemperaturnih polimorfov (enaka kemijska sestava, a različna struktura).

Temperatura

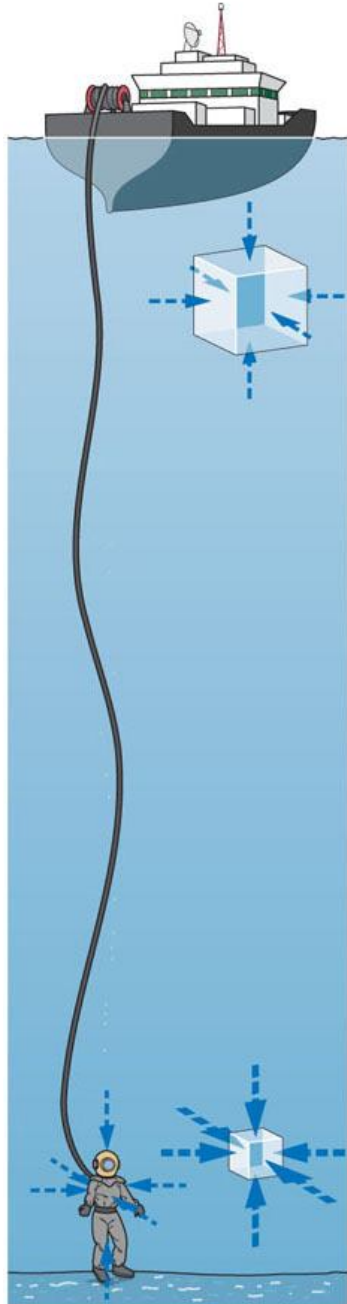
- Zgornja meja temperature metamorfoze se prekriva s temperaturo delnega taljenja kamnine.
- Če pride do delnega taljenja, komponenta, ki se stali postane magma, trdni preostanek pa ostane metamorfna kamnina.
- Temperatura soobstoja magmatskih in metamorfnih pogojev je različna glede na vrsto (kemizem) kamnin.
 - Ultramafične kamnine: > 1200 °C.
 - Granit ob prisotnosti vode pod tlakom: 650 °C.

Tlak

- Zračni tlak je 1 atmosfera = 1 bar.
- Tlak 10 m pod vodo je 1 atmosfera = 1 bar.
- Tlak pod 3,5 m kamnine je 1 atmosfera = 1 bar.
- Tlak v najglobljih delih oceana je 1000 bar.
- Tlak pod 3 km kamnine je 1 kbar.



Tlak



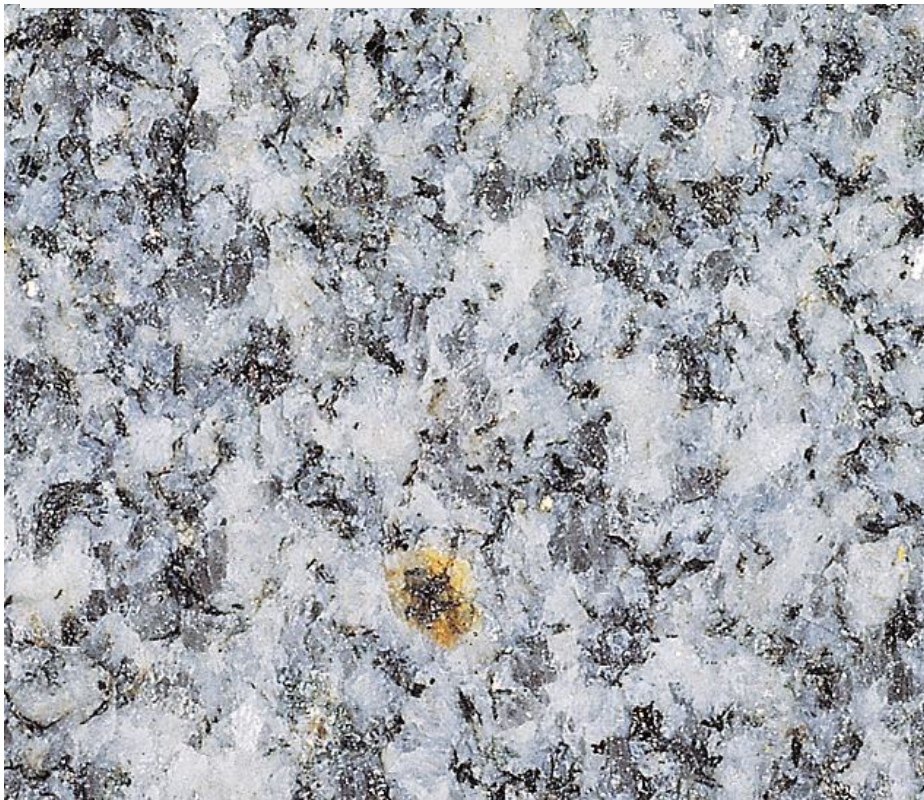
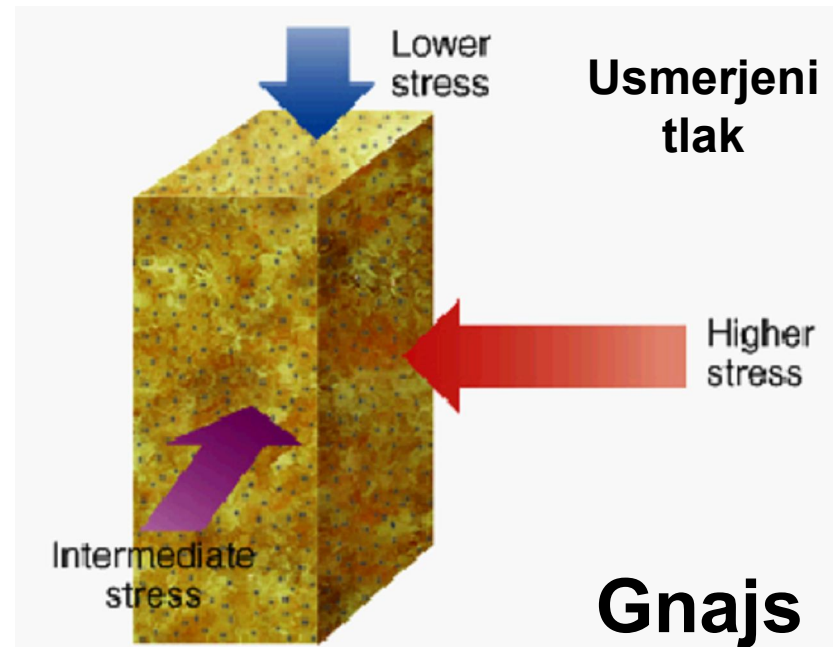
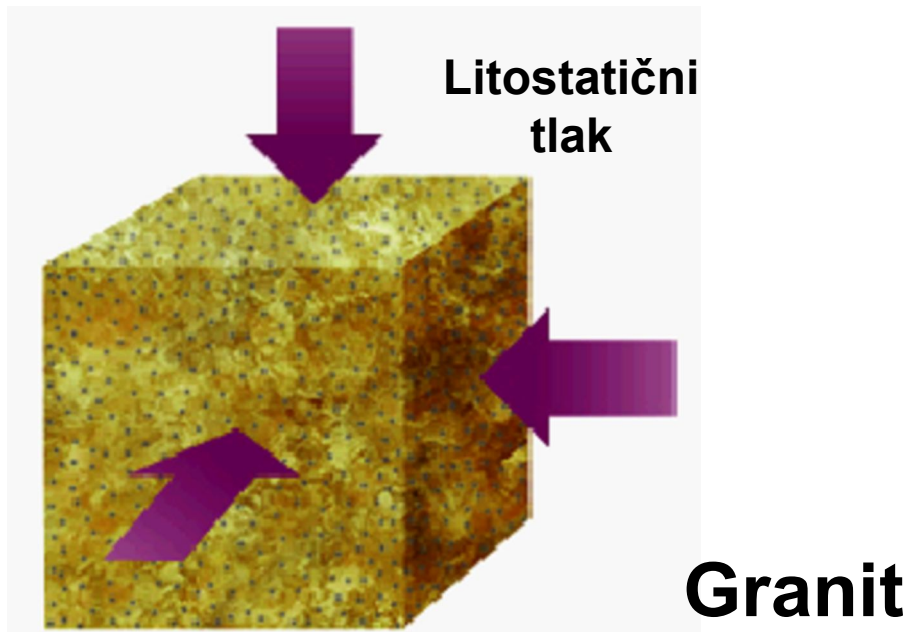
A

- Hidrostatitčni oz. litostatični.
 - Tlačni gradient je 1 kbar/3,3 km.
 - Spremeni se le gostota. Minerali nastali pod visokim tlakom so gostejši.
 - Ob sočasnem višanju p in T je odvisno od tega kateri dejavnik je učinkovitejši, kako se bo spremenila gostota minerala.

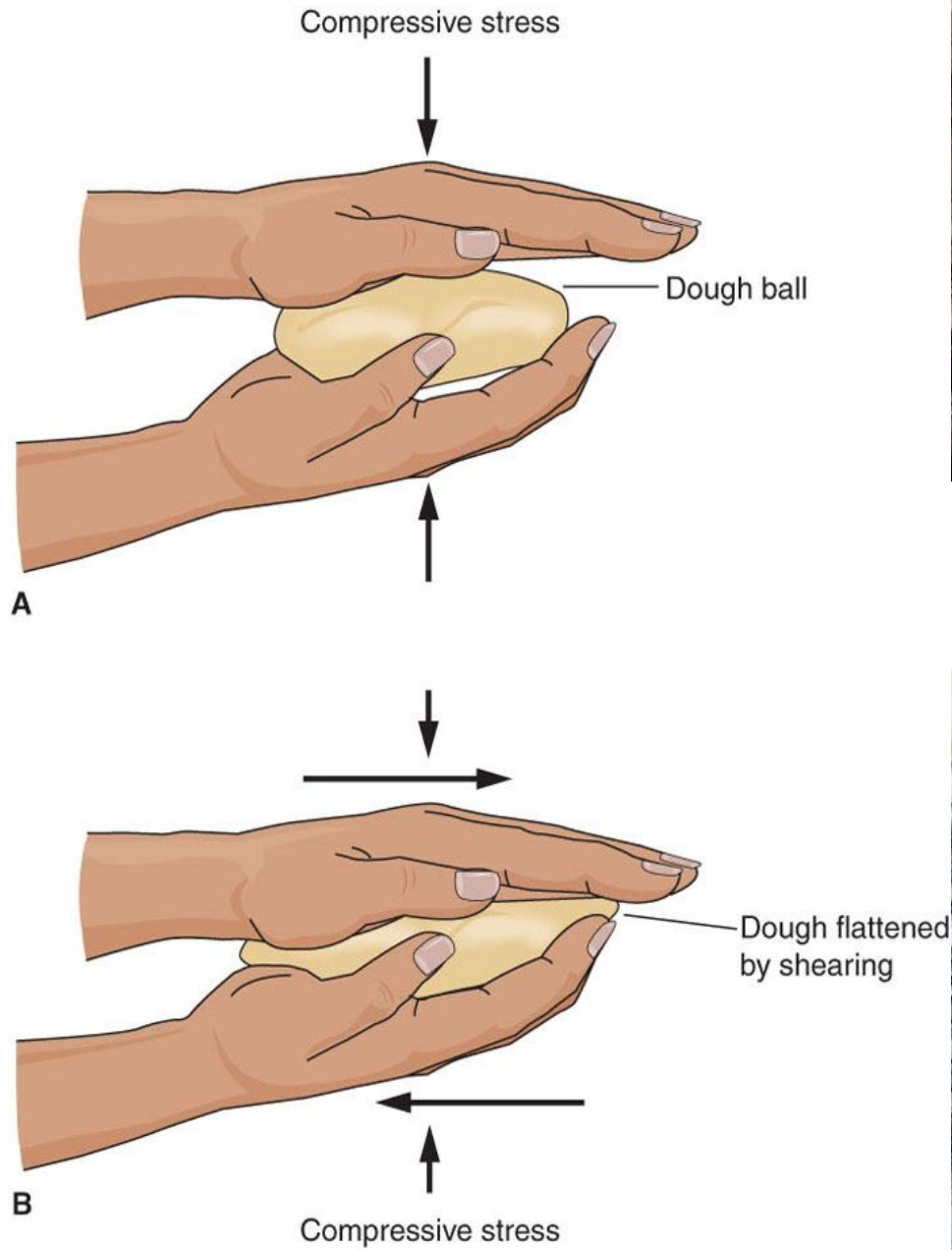


B

- Usmerjeni.
 - Spremeni se oblika.
 - Kompresijski.
 - Strižni.

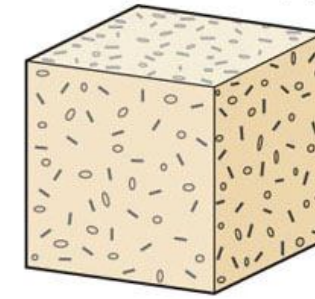


Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

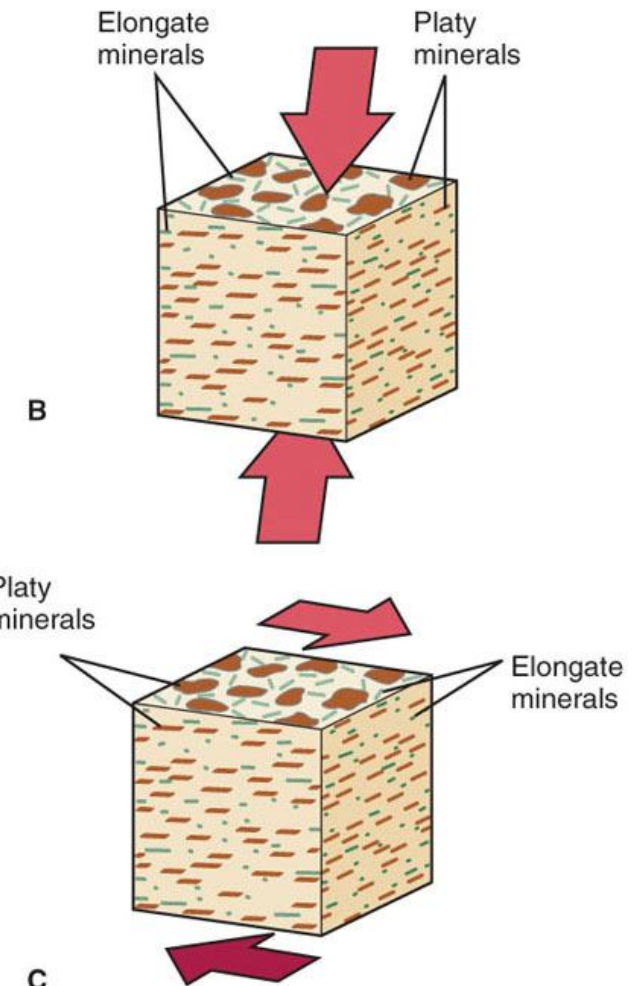


Usmerjeni tlak

- Foliacija.
 - Lističasti minerali (sljude) se usmerijo pravokotno na delovanje pritiska.
- Lineacija.
 - Igljčasti minerali (pirokseni, amfiboli) se usmerijo pravokotno na delovanje pritiska.
- Skrilavost.
 - Kamnina se zlahka lomi (razkolje) po vzporednih ploskvah.



A

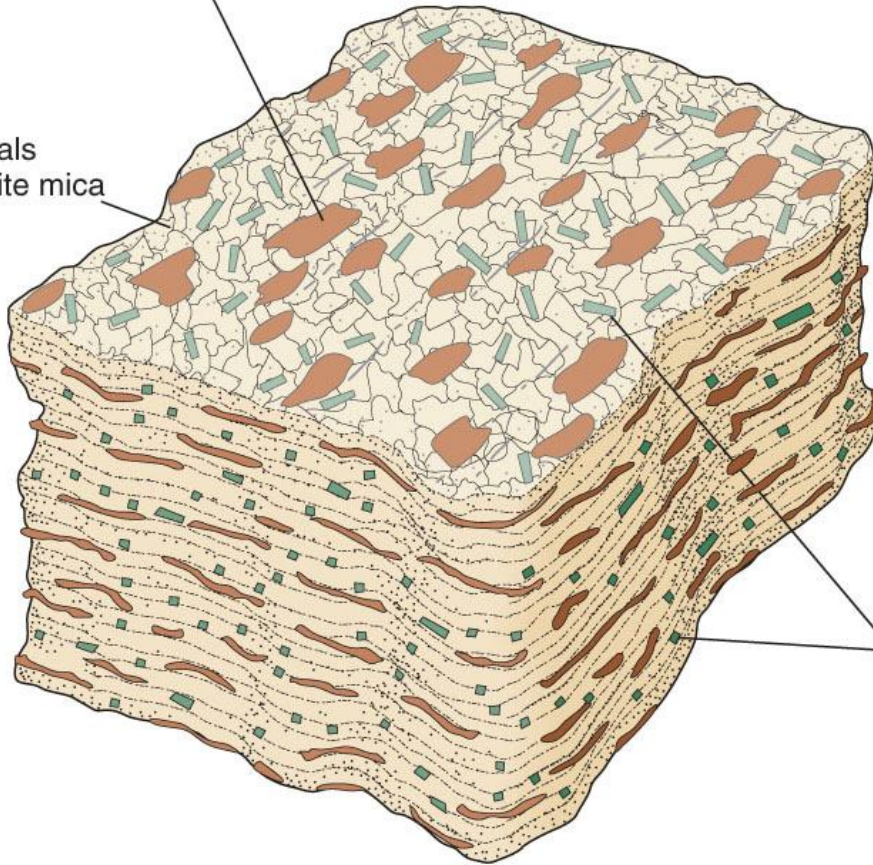


B

C

Platy minerals such as dark mica

Platy minerals such as white mica



Needlelike minerals such as amphibole



Kaj se zgodi med metamorfozo

- Minerali v trdnem stanju reagirajo, da nastanejo novi minerali.
 - $2\text{SiO}_2 + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{CaMgSi}_2\text{O}_6 + 2\text{CO}_2$
kremen dolomit piroksen
- Minerali spremenijo obliko (strukturo).
 - $\text{Al}_2\text{SiO}_5 \rightarrow \text{Al}_2\text{SiO}_5$
andaluzit disten
- Nastanejo novi dodatni minerali \Rightarrow metasomatoza.
 - $\text{CaMg}(\text{SiO}_2)_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 2\text{SiO}_2$
piroksen dolomit kremen
 - Minerali v raztopini \Rightarrow rudna telesa
- Rekrystalizacija (rast večjih zrn).

Klasifikacija metamorfnih kamnin

METAMORFNE KAMNINE		
SKRILAVE	MASIVNE	
	SVETLE	TEMNE
SKRILAVEC FILIT BLESTNIK GNAJS	MARMOR KVARCIT	AMFIBOLIT EKLOGIT SERPENTINIT

TABLE 15.1 Classification and Naming of Metamorphic Rocks (Based Primarily on Texture)**Nonfoliated****Name Based on Mineral Content of Rock**

Usual Parent Rock	Rock Name	Predominant Minerals	Identifying Characteristics
Limestone Dolomite	Marble Dolomite marble	Calcite Dolomite	Coarse interlocking grains of calcite (or, less commonly, dolomite) Calcite (or dolomite) has rhombohedral cleavage; hardness intermediate between glass and fingernail. Calcite effervesces in weak acid
Quartz sandstone	Quartzite	Quartz	Rock composed of interlocking small granules of quartz. Has a sugary appearance and vitreous luster; scratches glass
Shale Basalt	Hornfels Hornfels	Fine-grained micas Fine-grained ferromagnesian minerals, plagioclase	A fine-grained, dark rock that generally will scratch glass. May have a few coarser minerals present

Foliated**Name Based Principally on Kind of Foliation Regardless of Parent Rock. Adjectives Describe the Composition (e.g., biotite-garnet schist)**

Texture	Rock Name	Typical Characteristic Minerals	Identifying Characteristics
Slaty	Slate	Clay and other sheet silicates	A very fine-grained rock with an earthy luster. Splits easily into thin, flat sheets
Intermediate between slaty and schistose	Phyllite	Mica	Fine-grained rock with a silky luster. Generally splits along wavy surfaces
Schistose	Schist	Biotite and muscovite amphibole	Composed of visible platy or elongated minerals that show planar alignment. A wide variety of minerals can be found in various types of schist (e.g., garnet-mica schist, hornblende schist, etc.).
Gneissic	Gneiss	Feldspar, quartz, amphibole, biotite	Light and dark minerals are found in separate, parallel layers or lenses. Commonly, the dark layers include biotite and hornblende; the light-colored layers are composed of feldspars and quartz. The layers may be folded or appear contorted

Skrilavec

- Katerakoli skrilava metamorfna kamnina.
- Običajno pridevnik po prevladujočem mineralu – kloritov, lojevčev...
- ali po metamorfnem faciesu – zeleni, modri...



Filit

- Skrilav.
- Drobnozrnat (zrn ne vidimo s prostim očesom).
- Kremen in sljude (biotit, muskovit).
- Bolj svilnat sijaj od glinavca.
- Nastane iz glinavca.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

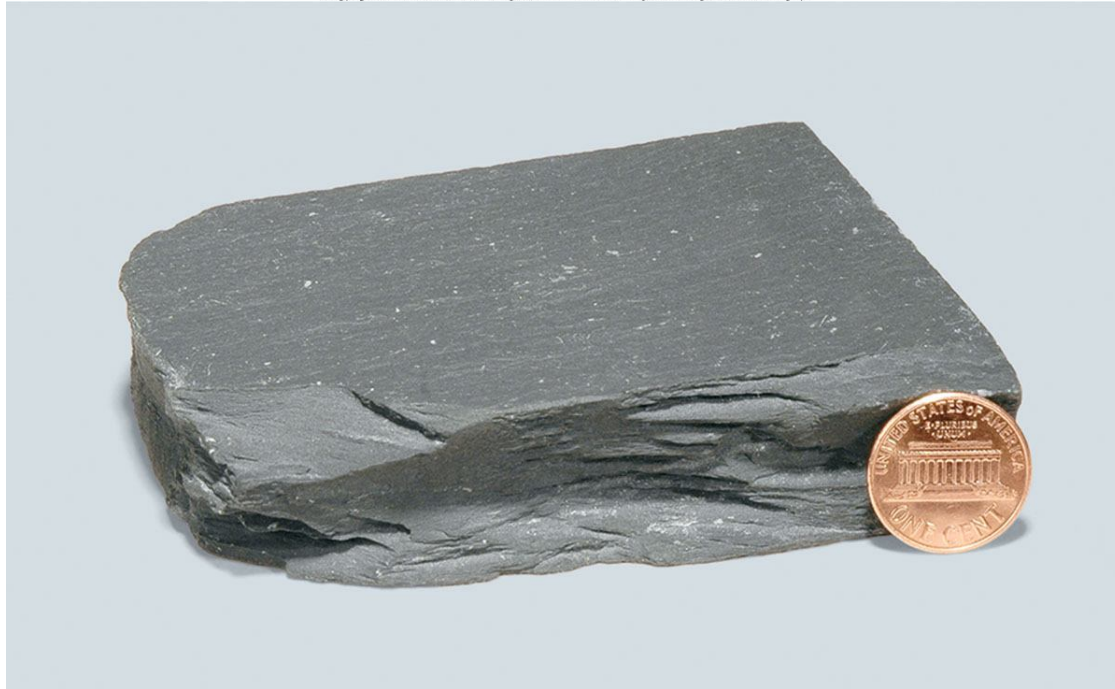


Photo © Parvinder Sethi

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Photo by P. D. Rowley, U.S. Geological Survey

Blestnik

- Skrilav.
- Srednje do debelozrnat.
- Kremen in sljude (biotit, muskovit).
- Nastane iz glinavca.



Gnajs



- Skrilav.
- Srednje do debelozrnat.
- Kremen, sljude (biotit, muskovit) in $> 20\%$ kislih glinencev.
- Nastane iz granita (orto-) ali glinavca (para-).
- Očesni – koncentracije glinencev.
- Protasti – ločeni pasovi mineralov.

skrilavi glinavec



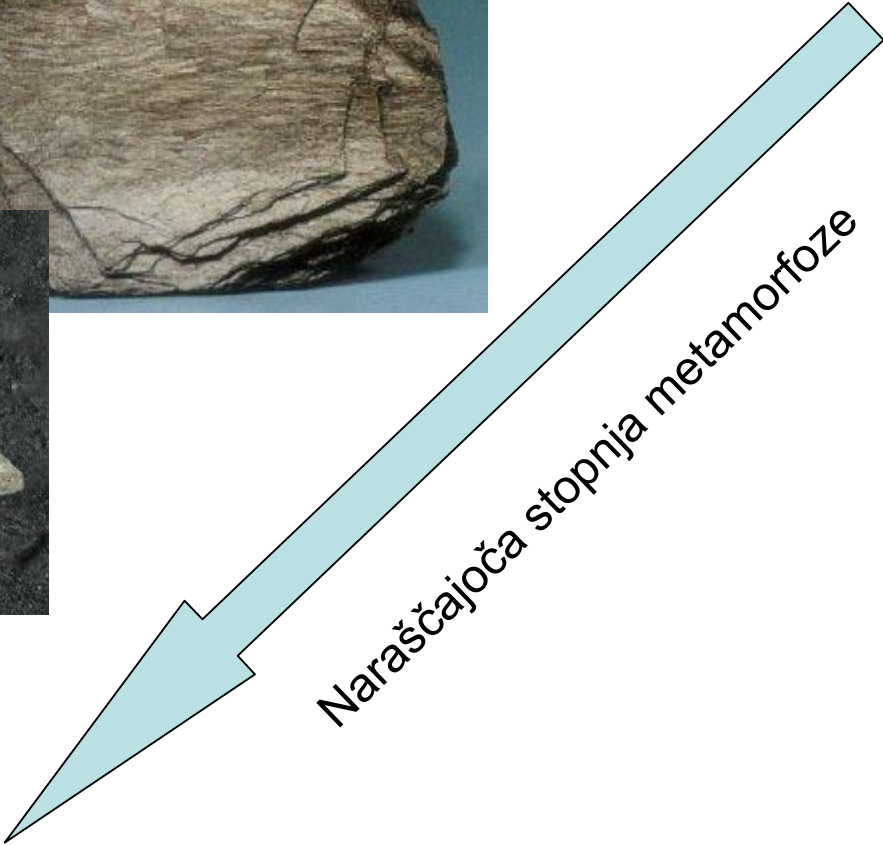
filit



blestnik



gnajs



Naraščajoča stopnja metamorfoze

Marmor

- Drobno do debelo zrnat.
- Bel, siv, rožnat.
- Kalcit ali dolomit.
- Nastane iz apnenca ali dolomita.



A



apnenec

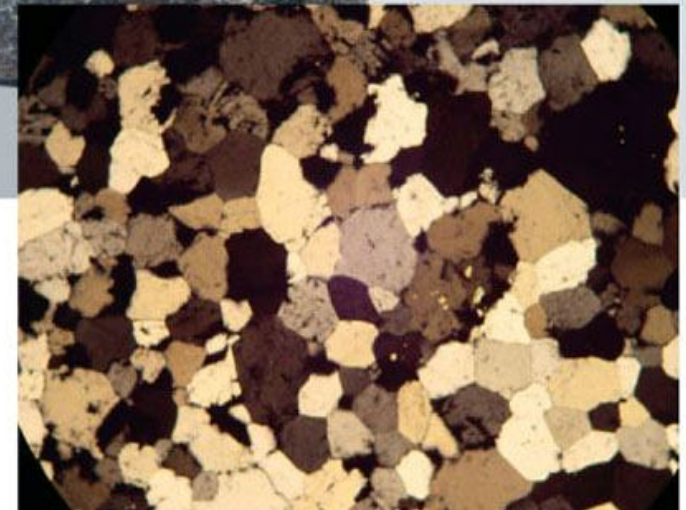


marmor



Kvarcit

- Drobnozrnat.
- Siv, bel, rumenkast.
- Kremen.
- Nastane iz kremenovega peščenjaka (konglomerata) in roženca.



kremenov peščenjak



kvarcit



Amfibolit

- Drobno- do debelozrnat.
- Amfiboli in bazični palgioklazi.
- Zelen, črn, rjav.
- Lahko ločeni pasovi svetlih in temnih mineralov.
- Nastane iz gabbra ali bazalta (orto-) ali iz laporovca.





bazalt

zeleni skrilavec

amfibolit

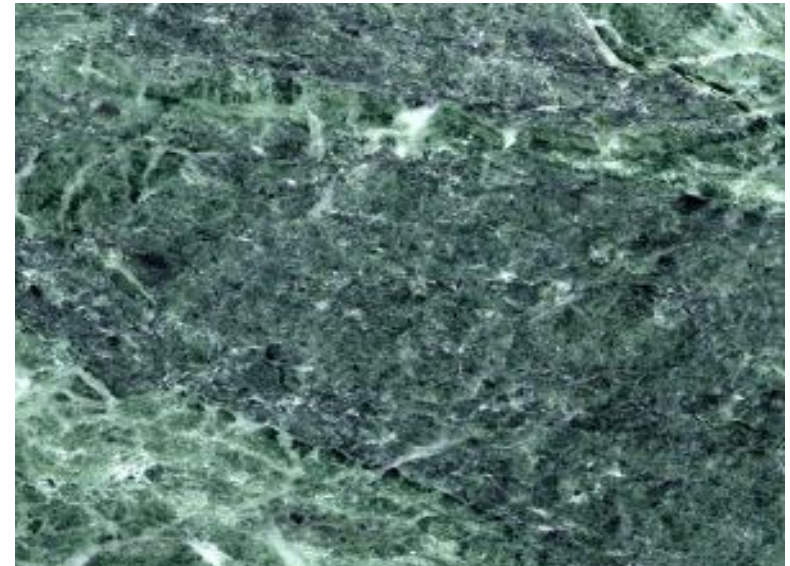
Eklogit

- Drobno- do debelo-zrnat.
- Zelen piroksen omfacit, rdč granat ± moder disten, kremen.
- Nastane iz gabbra ali bazalta (orto-) ali iz laporovca, pogosto preko amfibolita.



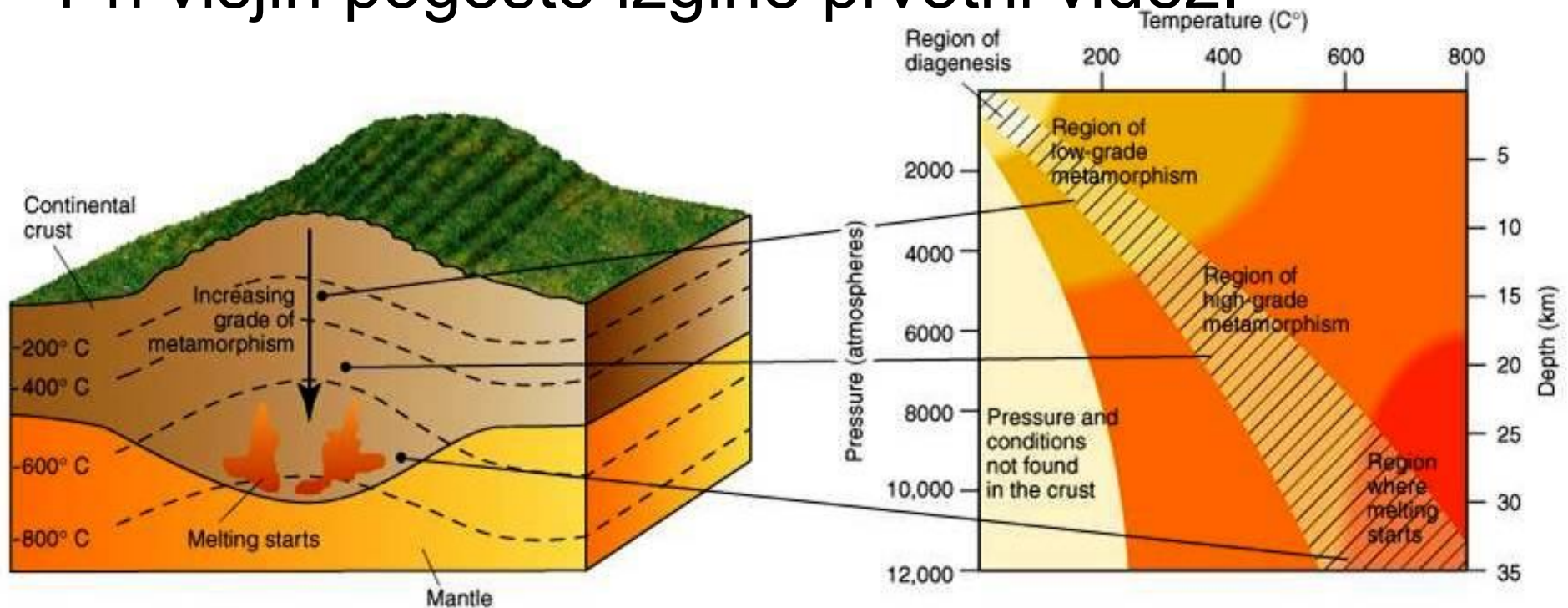
Serpentinit

- Drobnozrnat.
- Serpentinit \pm spremenjeni rombični pirokseni.
- Črn, zelen, rumenkast.
- Nastane iz ultramafičnih magmatskih kamnin.

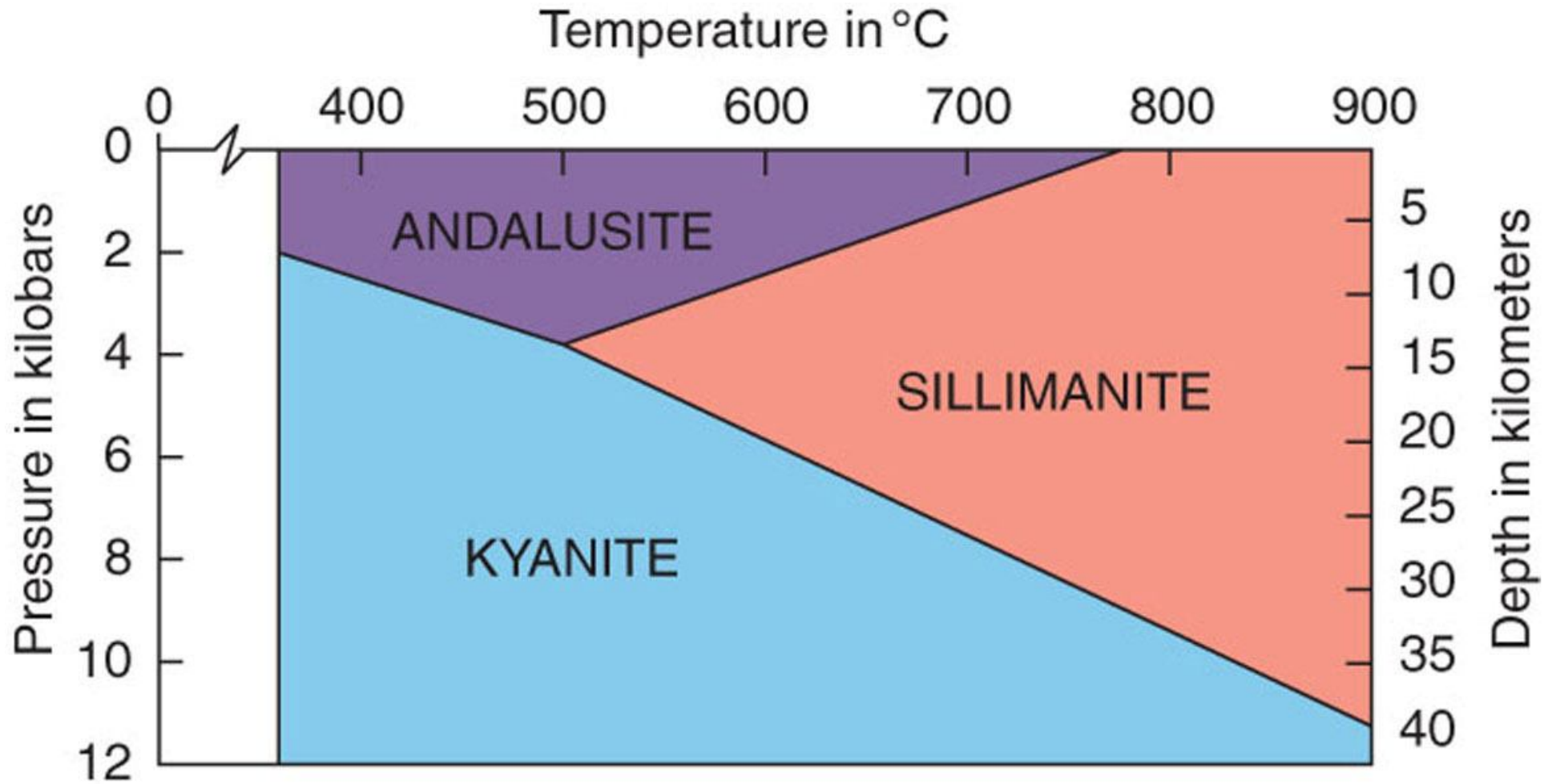


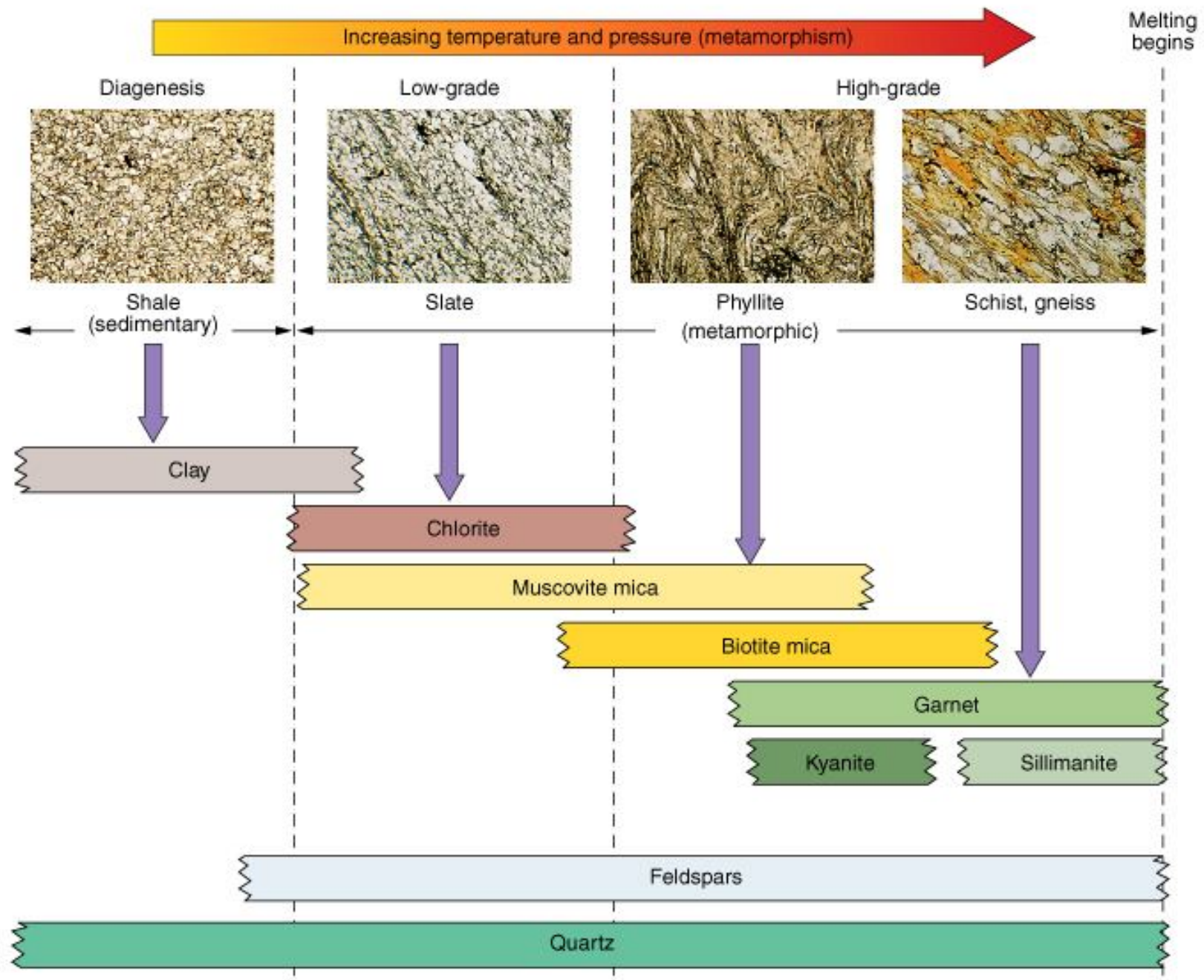
Stopnja metamorfoze

- Stopnja do katere se je spremenila sestava kamnine.
- Pri nižjih stopnjah so pogosto vidne prvotne sedimentne strukture in deformirani fosili.
- Pri višjih pogosto izgine prvotni videz.



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





Metamorfni faciesi

Globina\Temp	300C	400C	500 C	600 C	700 C	800 C
5 km	Zeolitni	<i>Kontaktna metamorfoza</i> – nastanek andaluzita				
10 km - 3 kb		Zelenega skrilavca nastanek klorita in biotita • <i>filit</i> • <i>zeleni skrilavec</i> • <i>kvarcit</i> • <i>marmor</i>	Amfibolitni nastanek granata , stavrolita , distena • <i>blestnik</i> • <i>amfibolit</i> • <i>kvarcit</i> • <i>marmor</i> • <i>gnajs</i>	Granulitni nastanek sillimanita , razpad muskovita v K- glinenec ; delno taljenje • <i>gnajs</i>		
15 km	Modrega skrilavca					
20 km - 6 kb						
25 km						
30 km - 9 kb						
35 km						
40 km - 12 kb	<i>Ni najden</i>	Eklogitni (plašč) • <i>eklogit</i>				

Temp °C	premog	apnenec	kremenov peščenjak	bazalt	glinavec	indeksni mineral
	lignit					
	antracit					
300	grafit	marmor			skrilavi glinavec	klorit
				zeleni skrilavec		
			kvarcit		filit	biotit
500					blestnik	granat
				amfibolit		stavrolit
600					gnajs	disten
						sillimanit
700						delno taljenje



Lignite

Peat

Anthracite

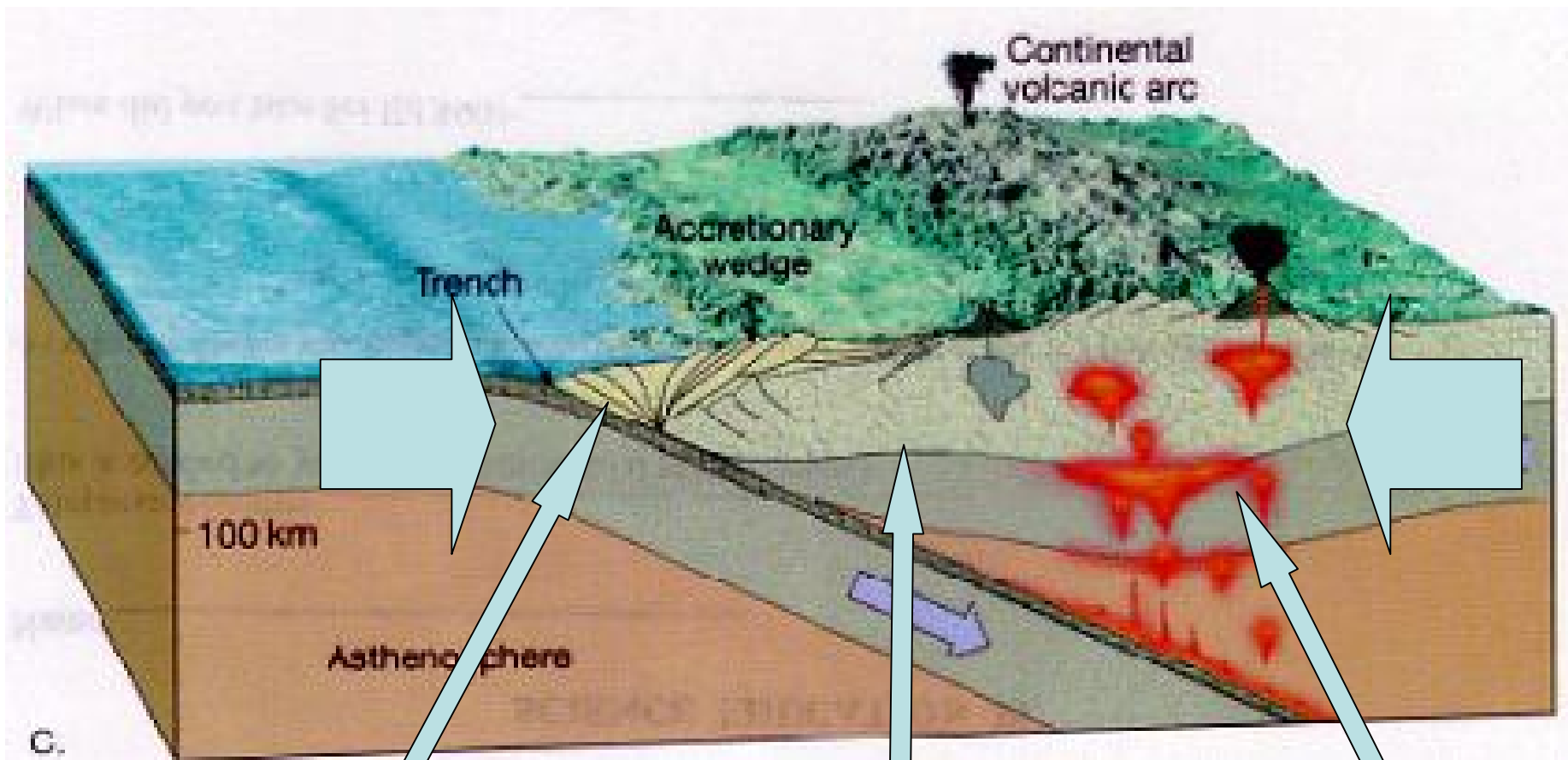
Bituminous

Diamond

Graphite

Vrste metamorfoze

- Regionalna:
 - Velike razsežnosti.
 - Globoka: 5 – 20 (>30) km.
 - Visok tlak.
 - Običajno jo spremljajo deformacije in nastanek gorstev.
- Kontaktna:
 - Okrog intruzij.
 - Plitva: 0 – 6 km.
 - Nizek tlak.
 - Lokalni izvor toplote.
- Kataklastična:
 - Mletje in strižna deformacija.



Kataklastična

Regionalna

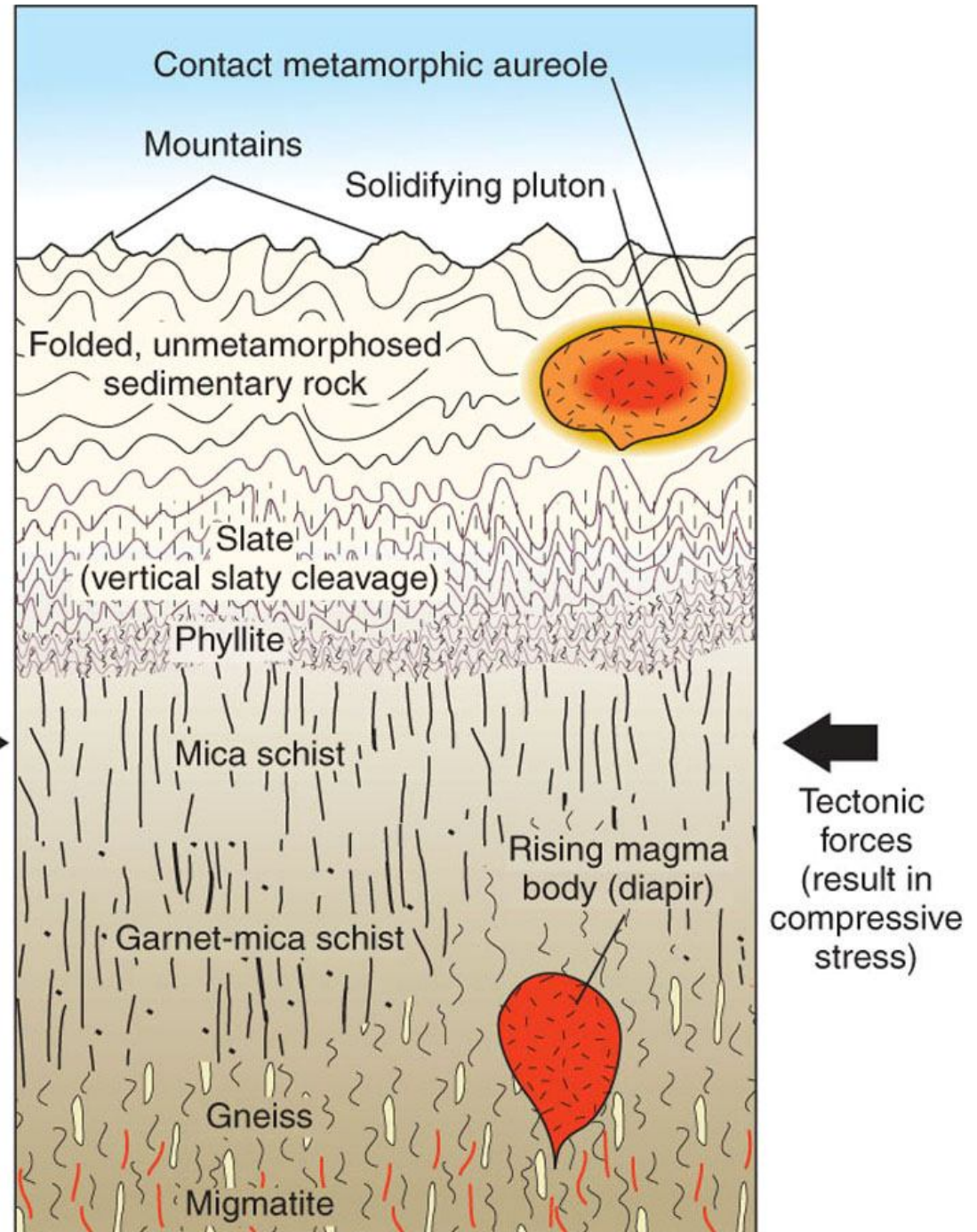
Kontaktna

Sprememba teksture in sestave

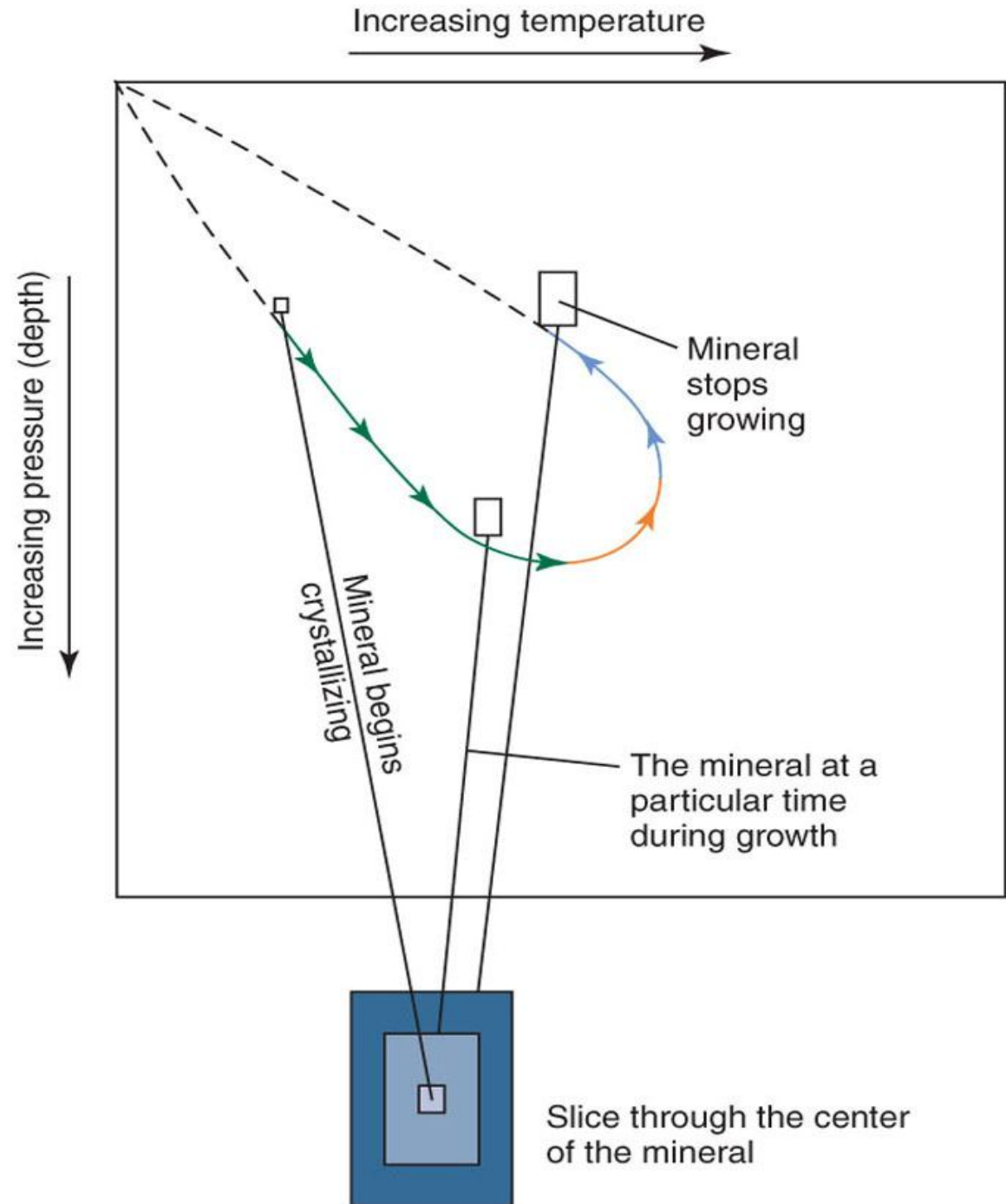
- Regionalna:
 - Tekstura je skrilava.
 - Postopna mineralna sprememba sestave.
 - Indeksni minerali:
 - klorit
 - muskovit
 - biotit
 - granat
 - sillimanit
- Kontaktna:
 - Tekstura je masivna.
 - Spremeni se mineralna in kemična sestava.
- Kataklastična
 - Tekstura je skrilava, strižno ali duktilno deformirana.
 - Ni spremembe sestave.

Regionalna metamorfoza

- Progresivna.
- Indeksni minerali.
- Migmatit – nastane, ko se talina po delnem taljenju metamorfne kamnine ponovno strdi.

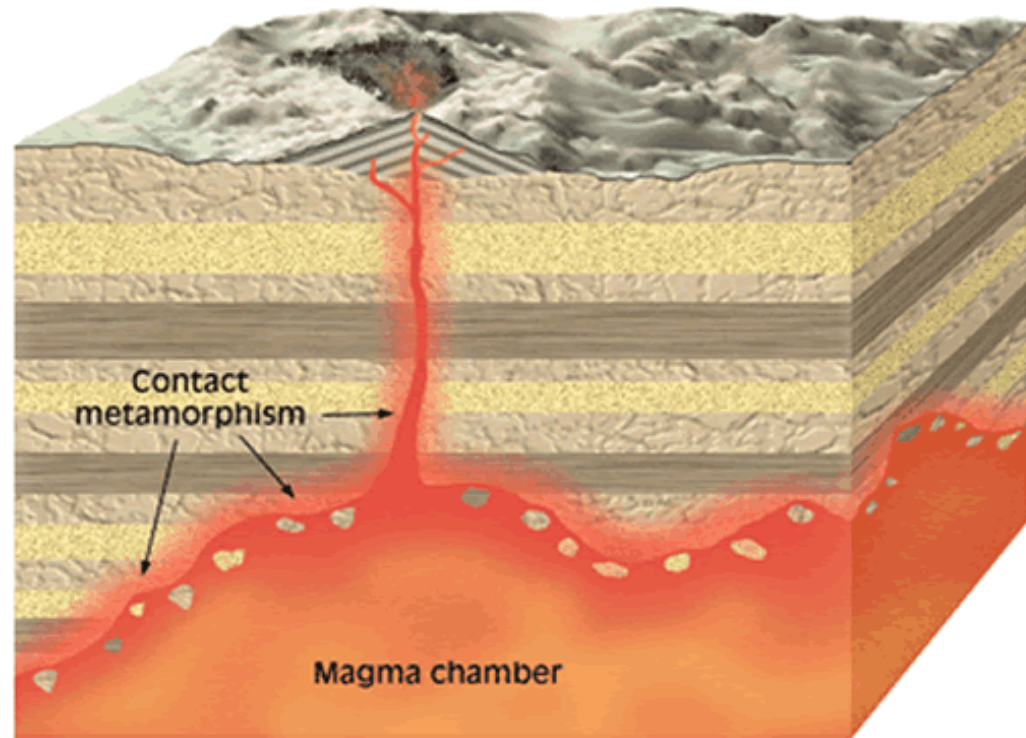


Regionalna metamorfoza



- Geotermometer.
- Geobarometer.

Kontaktna metamorfoza

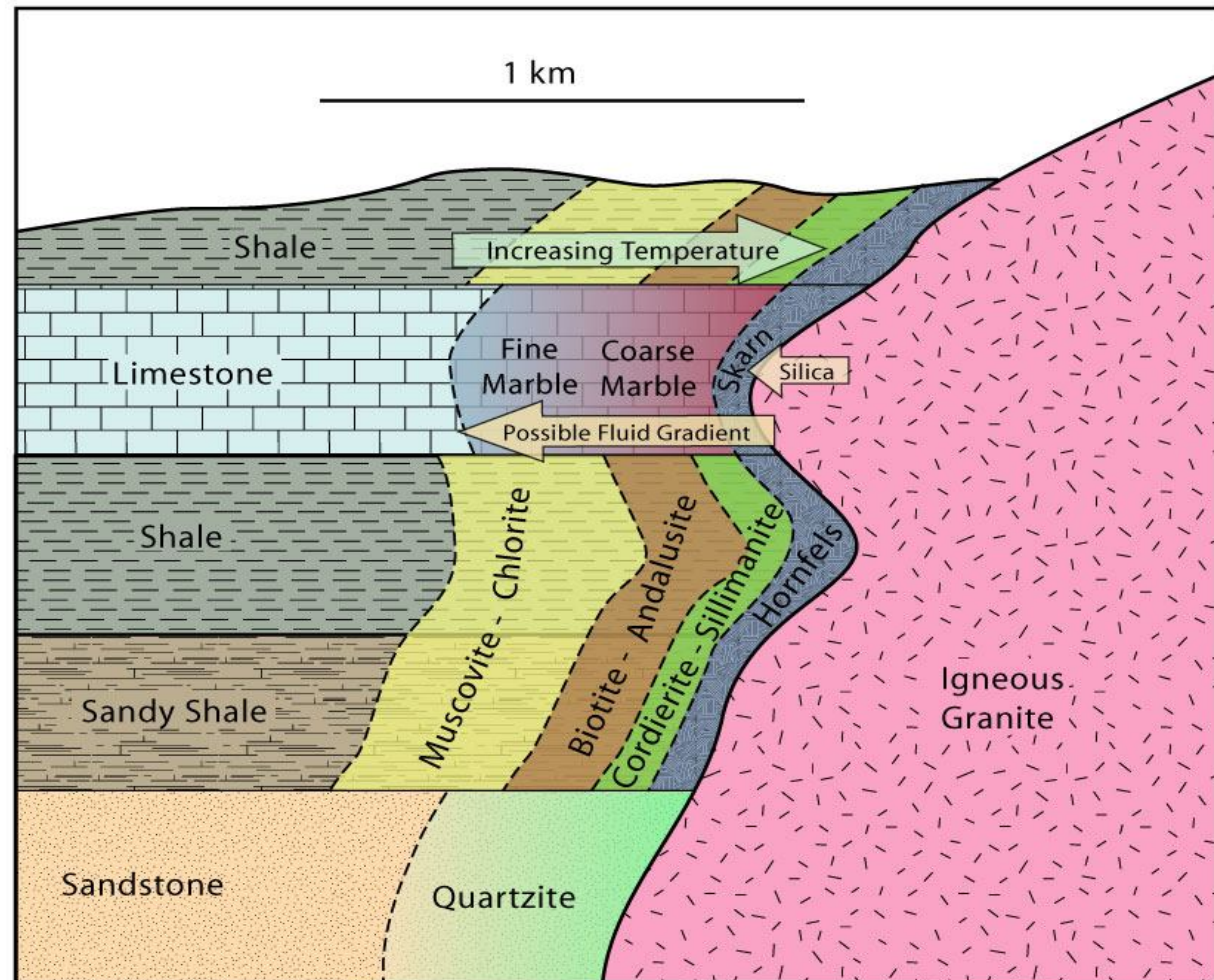


- Metamorfna aureola – cone metamorfnih mineralov (kamnin) nastalih zaradi toplote intruzije.



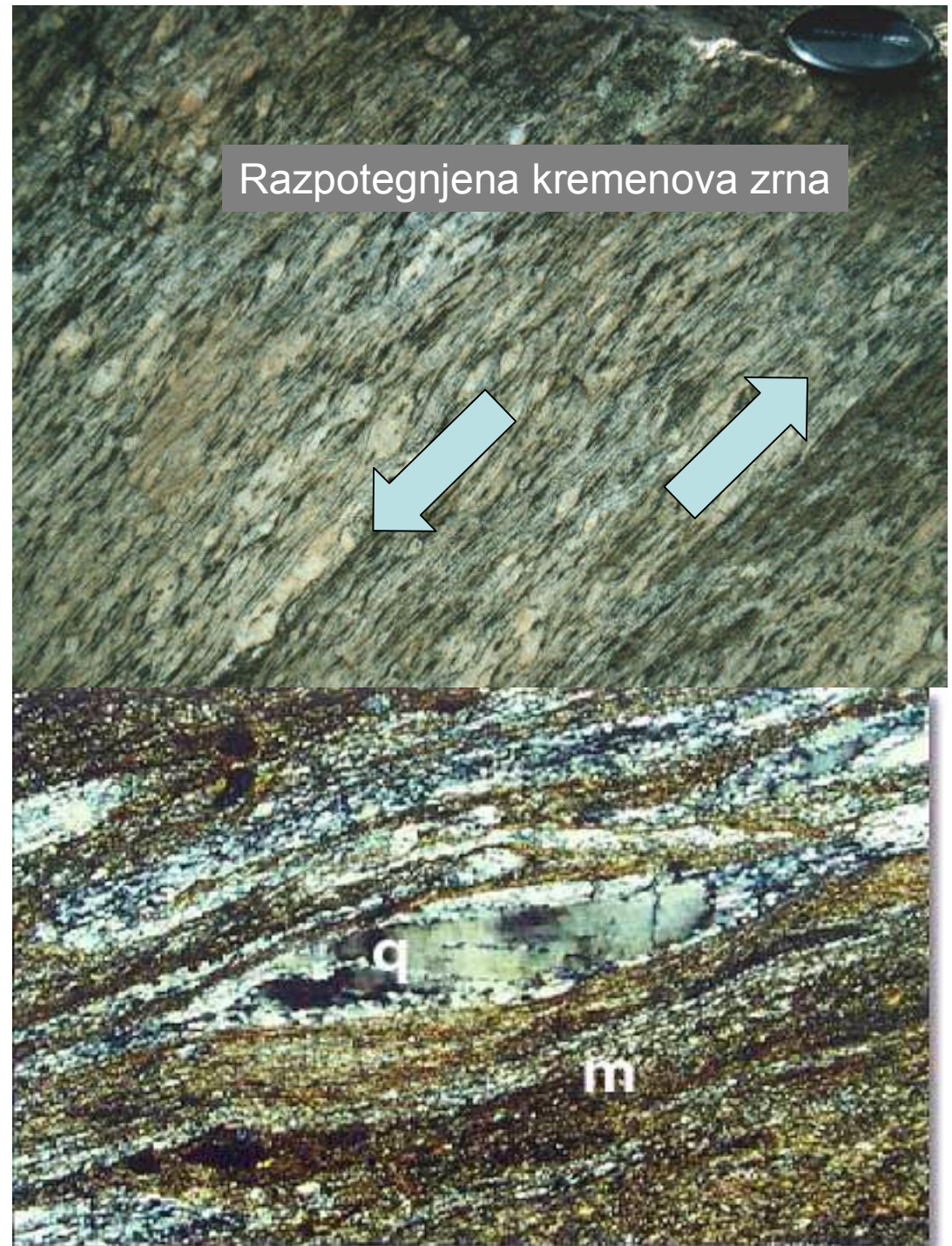
Kontaktna metamorfoza

- Skarn – stik s karbonatno kamnino.
- Rogovec - stik s silikatno kamnino.
- Orudenje.



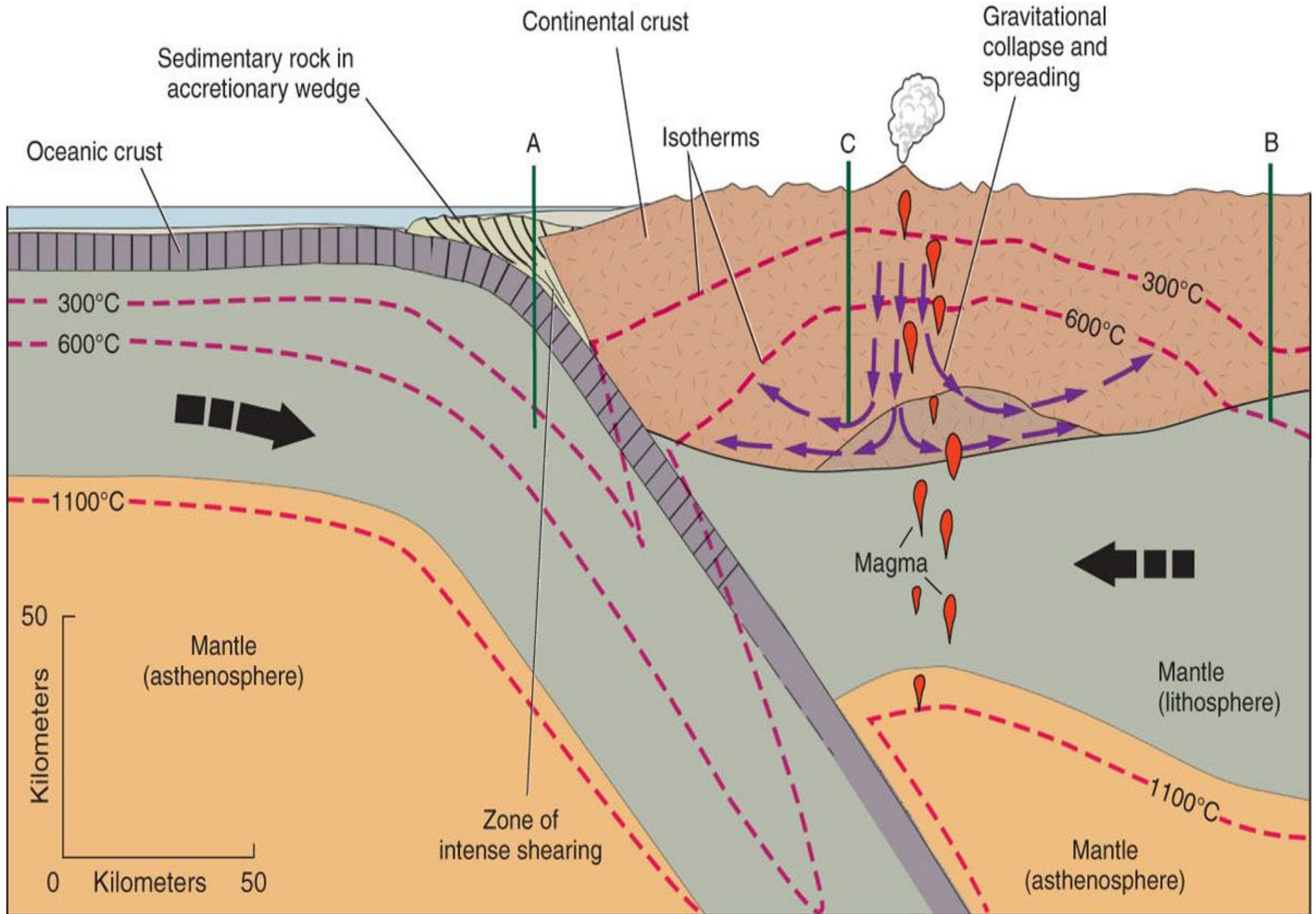
Kataklastična metamorfoza

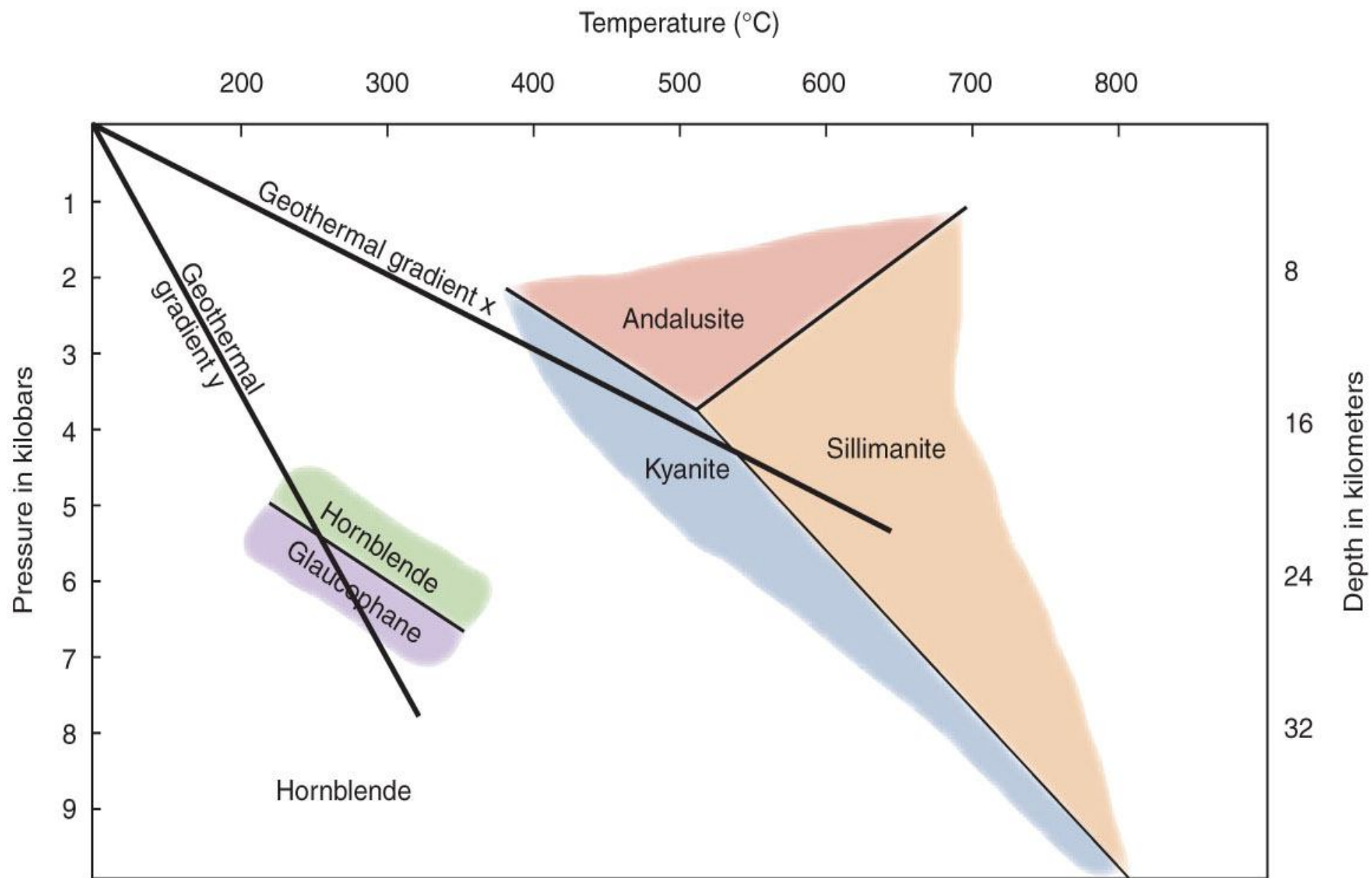
- Milonit – zdrobljen material v prelomnici.
- Minerali so razpotegnjeni in razporejeni vzporedno.



Tektonika plošč in metamorfizem

- Konvergentni robovi.
- Strižne sile, kjer se oceanska plošča podriva.
- Vzporedni metamorfni pasovi.
- Zaradi kompresije dveh plošč debeljenje celinske skorje pod dvignjenim gorstvom.
 - Gravitacijski kolaps in širjenje.





Hidrotermalni procesi

- Kamnine, ki so se oborile iz vročih raztopin oz. so nastale, ko so te prepojile prvotno kamnino.
- Hidrotermalno spremenjene kamnine.
- Hidrotermalne žile.
- Metasomatsko spremenjene kamnine.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

TABLE 15.3

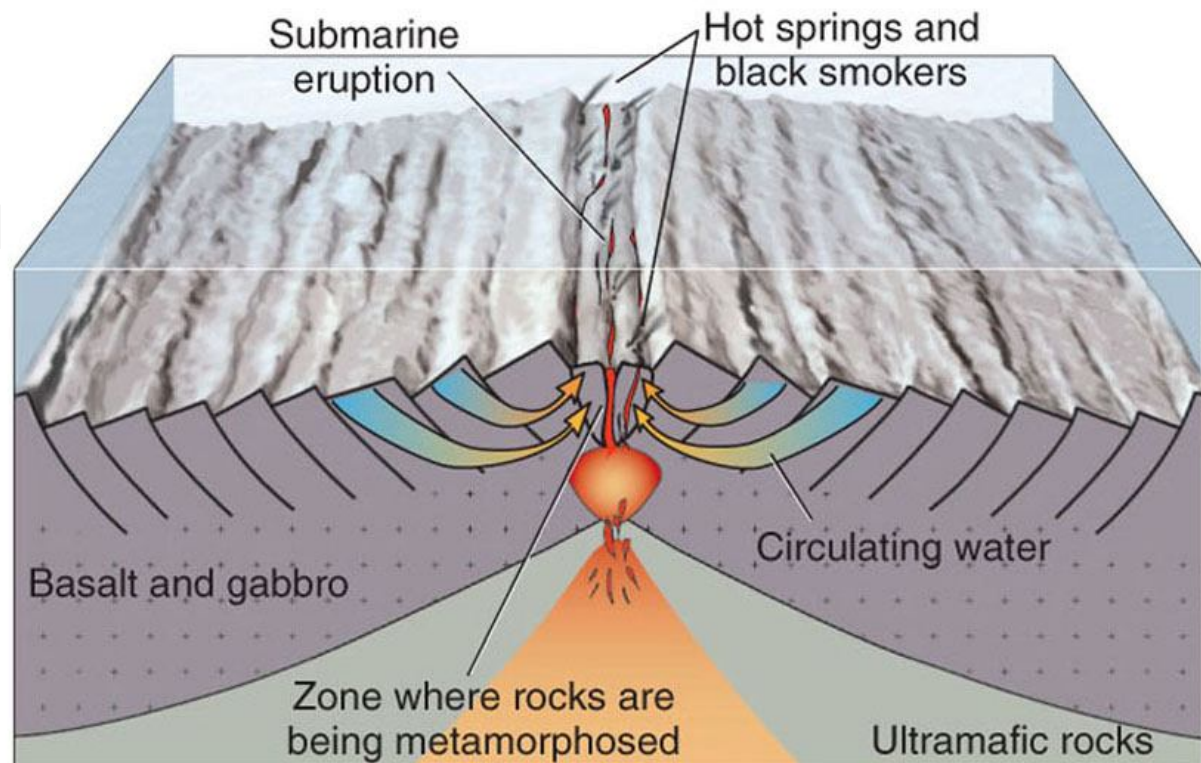
Hydrothermal Processes

Role of Water	Name of Process or Product
Water transports ions between grains in a rock. Some water may be incorporated into crystal structures.	Metamorphism
Water brings ions from outside the rock, and they are added to the rock during metamorphism. Other ions may be dissolved and removed.	Metasomatism
Water passes through cracks or pore spaces in rock and precipitates minerals on the walls of cracks and within pore spaces.	Hydrothermal rocks

Voda in divergentni stiki plošč

- Hladna morska voda se po razpokah v bazaltni skorji spušča v globino.
- Ko se zaradi magmatske aktivnosti segreje, se ponovno dvigne in izvira na oceanskem dnu v podmorskih hidrotermalnih izviroh.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

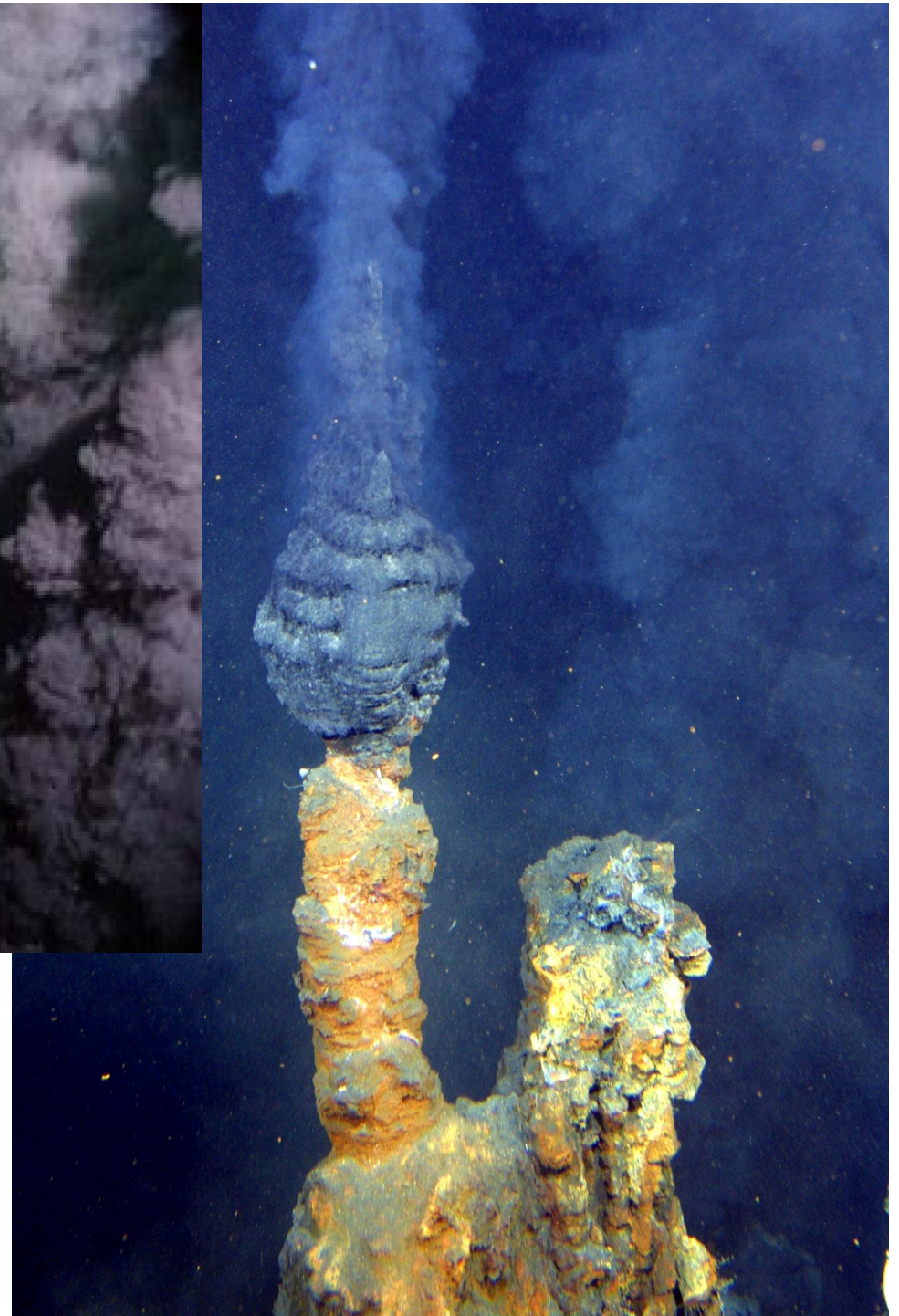


Rudišča na divergentnih stikih

- Vroča voda pomaga metamorfozirati okolne kamnine.
- Minerali se hidrirajo (olivin → serpentin).
- Hidrirana skorja se v coni subdukcije hitreje stali, ker voda znižuje tališča mineralov.
- Morska voda iz skorje in magme izlužuje kovine (Fe, Cu, Zn, (Mn, Au, Ag)) in žveplo.
- Ob ponovnem dvigu se ob stiku z mrzlo vodo izločijo rudni minerali (sulfidi).
 - Črni kadilci (black smokers).

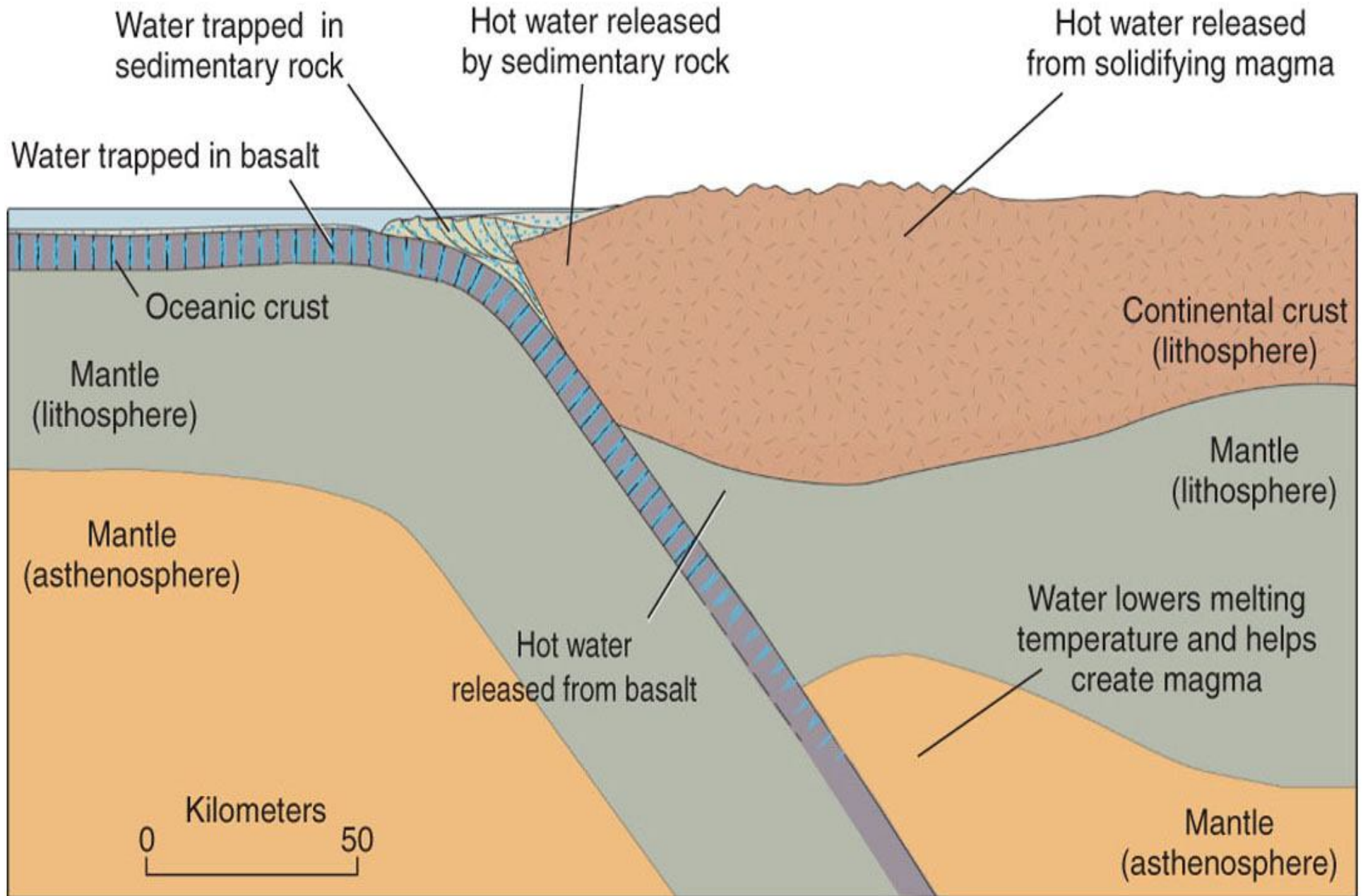


Črni kadilci



Voda in konvergentni stiki plošč

- Površinska voda se pretaka v globino – podtalnica. V globino tone tudi morska voda ujeta v oceanski skorji.
- V globini zaradi dviga temperature minerali rekristalizirajo, pri čemer se voda sprosti.
- Vodna para se po razpokah dviga proti površju.
- Pri tem pomaga metamorfozirati kamnine, raztaplja minerale, nosi ione, ki sodelujejo v metasomatozi ter v razpokah odlaga kremen in rudne minerale \Rightarrow rudišča.
- Niža tališče kamnin.



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

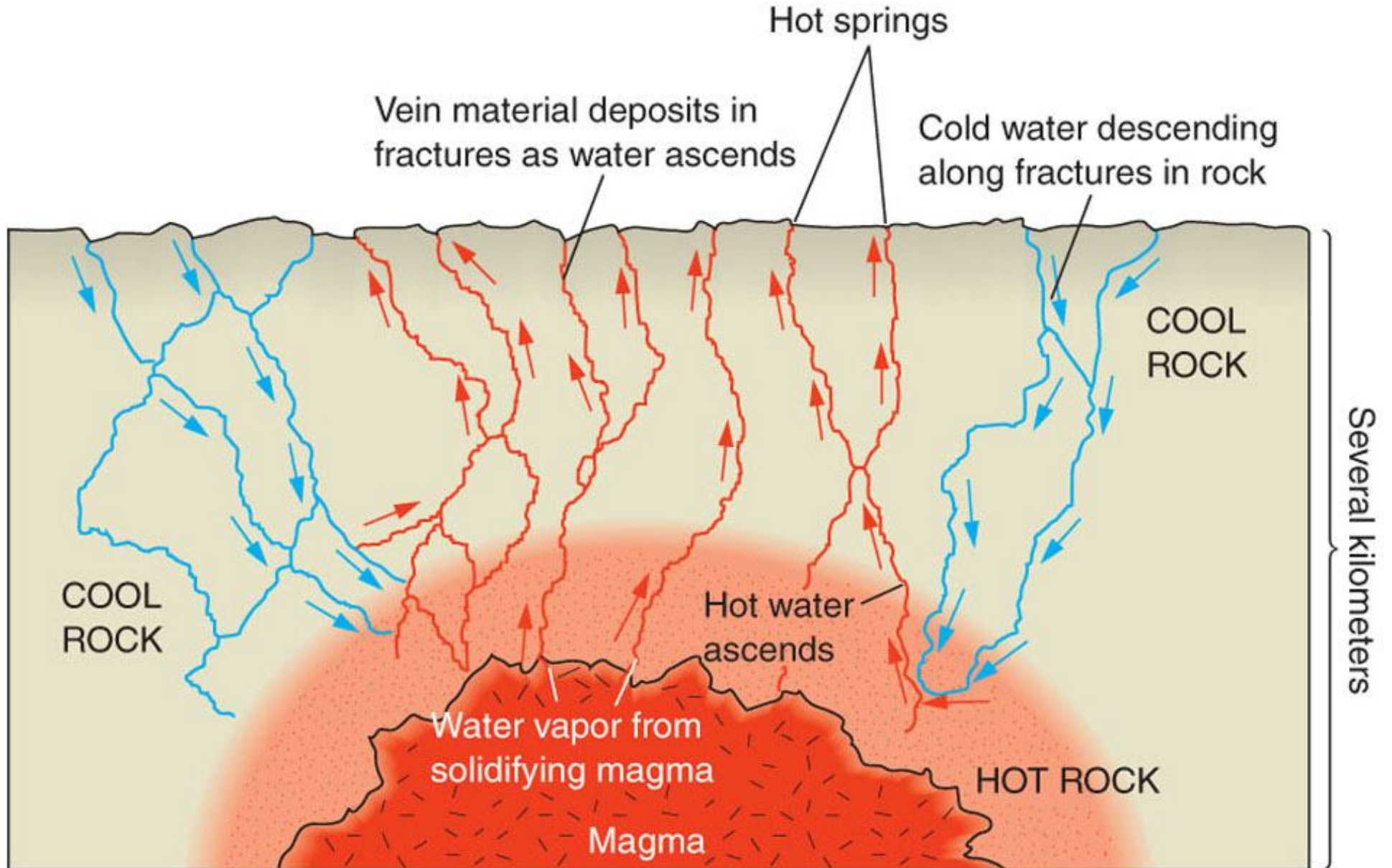
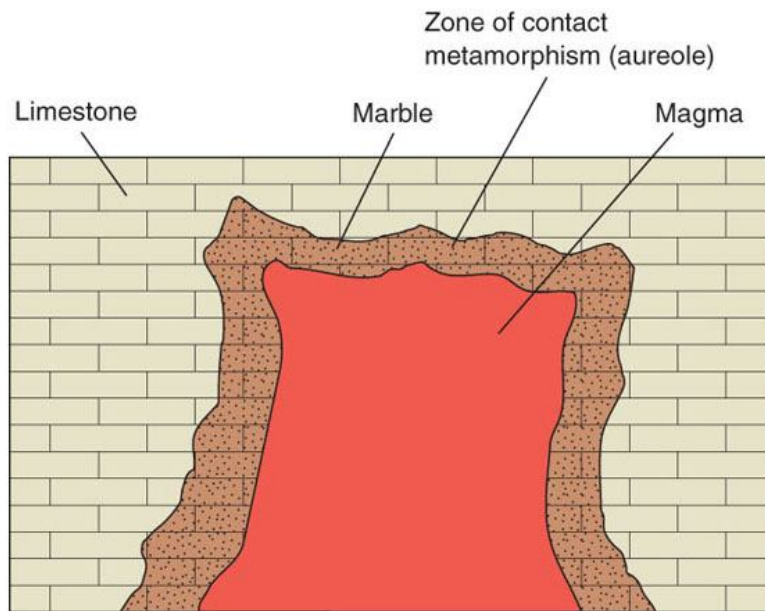




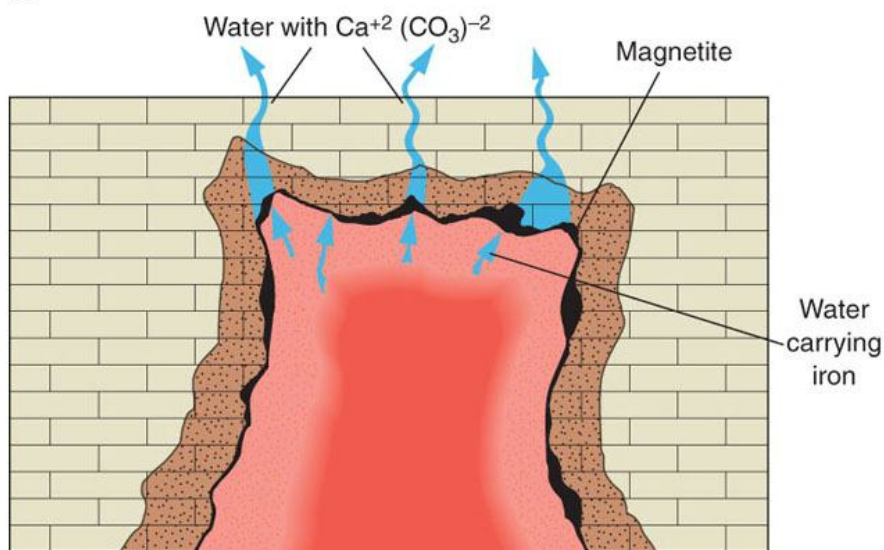
Photo courtesy of Kennecott Copper Company

Metasomatoza

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



A



B









- Je metamorfoza, kjer so udeleženi tudi ioni iz nekega zunanjšega vira.
- Novo kristalizirani minerali nadomeščajo prvotne, ko voda sočasno raztaplja in nadomešča ione.
- Ob metasomatozi med regionalno metamorfozo zelo vroča voda prenaša ione kot so K^+ , Na^+ in SiO_4^- \Rightarrow rast glinencev.
- Pri kontakni metamorfozi nastajajo rudišča Fe, W, Cu, Pb, Zn in Ag.

Zapomni si

1. Kamnine se spremenijo zaradi delovanja toplote, tlaka in tekočin.
2. Zemljina toplota izvira iz prvotne toplote in radioaktivnega razpada.
3. Tlak je posledica teže zgoraj ležečih kamnin = globine.
4. Med metamorfozo prvotni minerali preidejo v minerale, obstojne pri novih pogojih temperature in tlaka. Kamnina lahko postane skrilava.
5. V različnih pogojih metamorfoze nastanejo različne kamnine in minerali.
6. Metamorfne kamnine govorijo o pogojih temperature in tlaka v Zemljini skorji.

Litološka karta Slovenije



- | | | | |
|--|---|--|---|
|  piroklastične kamnine |  globočnine |  predornine |  metamorfne kamnine |
|  drobnozrnae klastične kamnine (peščenjaki, muljevci) |  apnenci in dolomiti |  fliš |  kvartarni aluvialni sedimenti (prod, konglomerat) |