

Dana Sitányiová

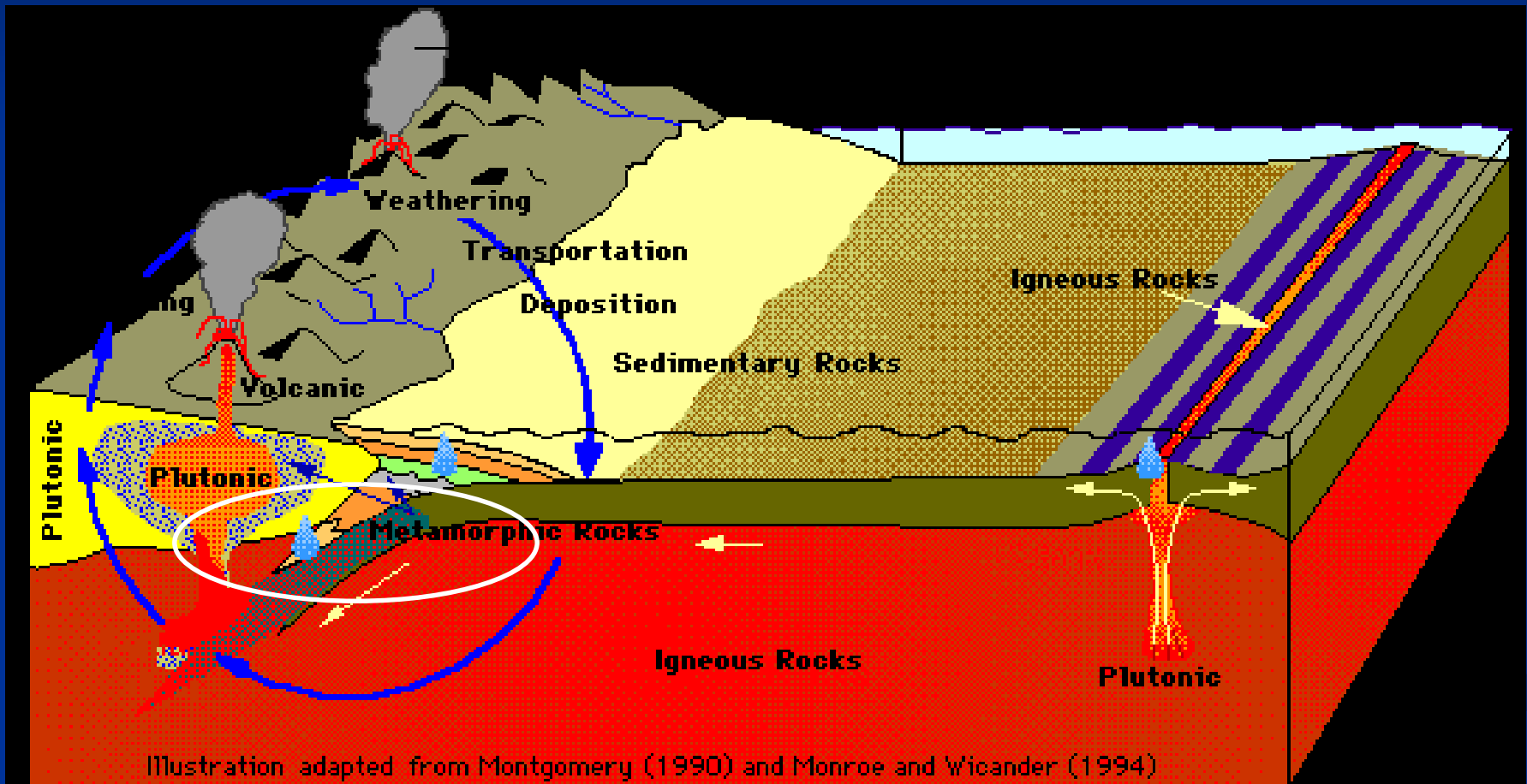
Prednáška 5 – Metamorfóza



Metamorfóza

Metamorfóza je dej, pri ktorom dochádza k premene materských hornín vplyvom vonkajších podmienok. Materskou horninou môže byť hornina magmatická, sedimentárna alebo aj metamorfovaná. Premeny hornín sú vyvolané zmenou fyzikálnych alebo chemických podmienok, v ktorých sa hornina nachádza. Zmena týchto podmienok môže nastat', buď transportom tejto horniny do iného geologického prostredia alebo skutočnou zmenou okolitého prostredia, napríklad prevrstvením horniny nejakou nadložnou vrstvou. Premena hornín je najčastejšie vyvolaná veľkým vonkajším tlakom a zvýšenou teplotou.

Metamorfóza v horninovom cykle



Metamorfóza

Metamorfóza = pretváranie, premena hornín vplyvom endogénnych procesov, vyvolávajúcich zmeny fyzikálnych a chemických podmienok v zemskej kôre

Metamorfovaná hornina = hornina, ktorá prekonala štruktúrnu, textúrnu a minerálnu premenu vplyvom tlaku, teploty a chemicky aktívnych látok

Činitele metamorfózy

Teplota

Teploty dosahujú často hodnoty blízke k hodnotám, pri ktorých dochádza k taveniu horniny resp. jej niektorých zložiek. Do kategórie metamorfóz sa však nezahrňuje tavenie hornín na magmu vplyvom vysokých teplôt a tlakov.

- Zmeny prebiehajú najmä v rozmedzí 300-900 °C
- Dehydratácia, dekarbonizácia
- Zdroje tepla: rádioaktívny rozpad, horúce roztoky, magmatické intrúzie
- Výsledkom je často zmena štruktúry a textúry - rekryštalizácia

Materská hornina



metamorfit

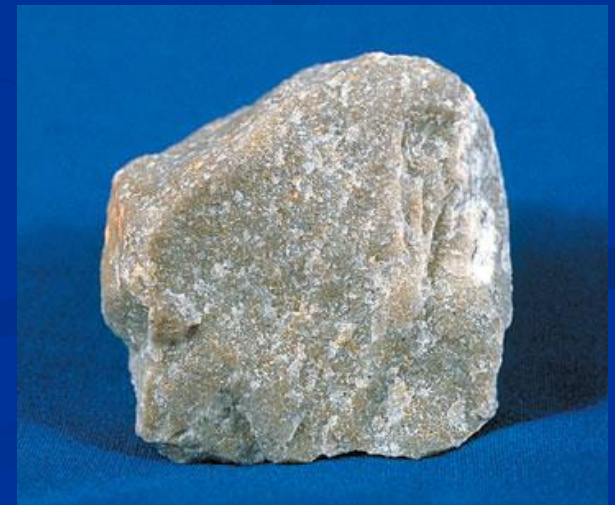
vápenec

mramor



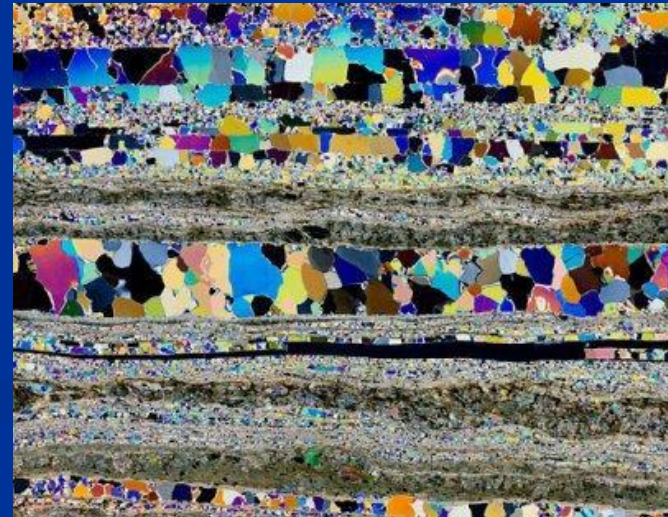
pieskovec

kvarcit



Tlak

Vysoké tlaky nemajú obyčajne charakter homogénne pôsobiacej sily, ale majú určitú smerovú orientáciu, navyše s rôznym pôsobením v rôznych miestach horniny. Podmienky, pri ktorých dochádza k metamorfóze hornín, sa dajú označiť ako veľmi kritické, čo znamená, že mechanický tlak na horninu vysoko prekračuje podmienky, pri ktorých dochádza napr. k spevňovaniu sypkých hornín pri vzniku sedimentárnych hornín.



Chemicky aktívne látky

Chemické reakcie, ktoré sa podieľajú na metamorfóze hornín, zahrňujú jednak homogénne reakcie medzi tuhými fázami a jednak nehomogénne reakcie. Na nich sa okrem tuhej zložky, zúčastňuje aj plynná alebo kvapalná fáza, ktoré tvoria ďalšie reaktanty, pochádzajúce z roztokov alebo plynného okolia, prípadne tieto sú produktmi reakcií.

- Voda
- Oxid uhličitý
- Termálne roztoky hlbinného pôvodu

Medzi najdôležitejšie patria tri kategórie chemických reakcií:

- **dehydratačné,**
- **dekarbonizačné a**
- **karbonizačné.**

Dehydratačné reakcie prebiehajú pri zvýšených teplotách. K významným patria tieto reakcie:



pyrofy lit kyanit kremeň

Veľmi významnou reakciou je dekarbonizácia kalcitu. Uvoľňuje sa pri nej oxid uhličitý, ktorý spolu s vodnou parou je najčastejším plynným produktom metamorfných procesov.



kalcit wollastonit

Oxidačno-redukčné reakcie prebiehajú jednak v blízkosti zemského povrchu, v dôsledku styku hornín s atmosferickým kyslíkom, ale tiež v zemskej kôre a vrchnom plášti, ktoré obsahujú veľký podiel kremičitanov a oxidov. Dôležité oxidačno-redukčné reakcie sú vzájomné premeny magnetitu, hematitu a wüstitu a železa:



hematit magnetit

Výsledok metamorfózy

Metamorfózy hornín môžu mať veľmi široký rozsah, od sotva rozpoznateľných zmien až po podstatné zmeny fázového a chemického zloženia, pri ktorých sa strácajú hlavné identifikačné znaky pôvodnej horniny. V závislosti od stupňa premeny materskej horniny, je možné označovať metamorfované horniny ako slabo premenené alebo silno premenené. Typickými zmenami sú zmena veľkosti a orientácie zŕn a rekryštalizácia menšej alebo väčšej časti minerálov, ktoré sa v konečnom dôsledku prejavujú v zmene textúry horniny. Typickým znakom premenených hornín je ich plošne paralelná textúra (bridličnatosť resp. foliácia), ktorá vzniká prednostným usporiadaním minerálov do plôch, kolmých na smer pôsobenia tlaku.

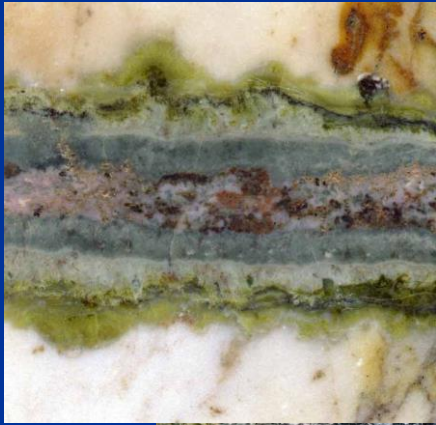
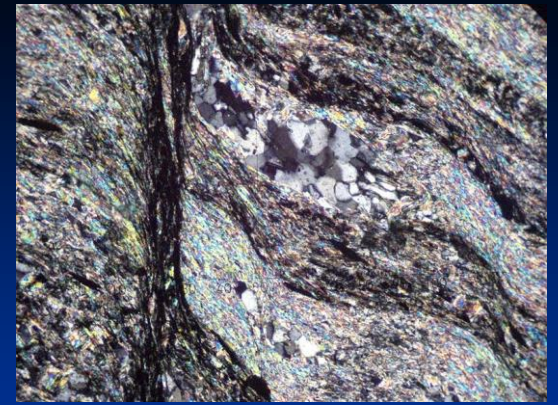
Textúry

- Častá je usmernená, plošne paralelná stavba
- Bridličnatosť, odlučnosť = sekundárna foliácia
- Lineácie – lineárne textúry

Textúry:

Stebelnatá, páskovaná, okatá, masívna

Textúra



Štruktúry

Homoblastické (rovnomerne zrnité)

- Granoblastická – zrnitá
- Lepidoblastická – šupinkovitá
- Nematoblastická – vláknitá
- Fibroblastická – ihličkovitá
- Diablastická – prerastavá, dlažobná

Heteroblastické (nerovnomerne zrnité) –
porfyroblastické

Kataklastické (úlomkovité)

Minerály metamorfovaných hornín

Horninotvorné minerály metamorfovaných hornín pochádzajú v menšej miere z primárnych hornín a sú reprezentované najmä kalcitom a dolomitom. Novovzniknuté, sekundárne minerály patria najmä do skupiny kremičitanov, uhličitanov a oxidov. Najvýznamnejšie sú: kremeň, draselné živce, biotit, muskovit, plagioklasy, sericit, chlority, mastenec, amfiboly, kalcit, dolomit, serpentín, grafit, zoizit a granáty.



Typy metamorfózy

- Kataklastická
- Šoková
- Termická
- Kontaktná
- Regionálna
- Metasomatická
- Injekčná

Kataklastická metamorfóza

K metamorfóze hornín dochádza pozdĺž veľkých zlomov, kde tektonické pohyby spôsobujú drvenie a vzájomné klzanie hornín. Tuhé horniny sú pritom mechanicky rozdrvené do pastovitej masy. Táto prevažne mechanická vysokotlaková premena je označovaná ako kataklastická metamorfóza.

Kataklasticky metamorfované horniny sa často nachádzajú často spoločne s regionálne metamorfovanými horninami v orogénnych pásmových pohoriach, kde regionálna metamorfóza je sprevádzaná intenzívnymi zlomovými a vrásovými deformáciami.

Produkty:

- Kaikirity – brekciovité, podrvené horniny
- Kataklazity – bez mylonitizácie
- Mylonity – mylonitizácia, rekryštalizácia, bridličnatá textúra, novovzniknuté minerály



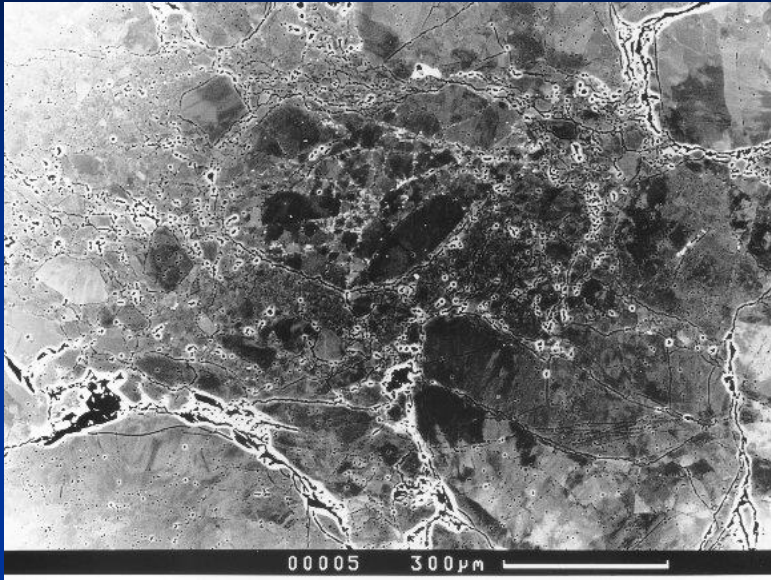
Mylonity



Kataklazity



Sprievodné javy



Podrvenie horniny pod mikroskopom



Vyhľadanie plôch na zlomoch

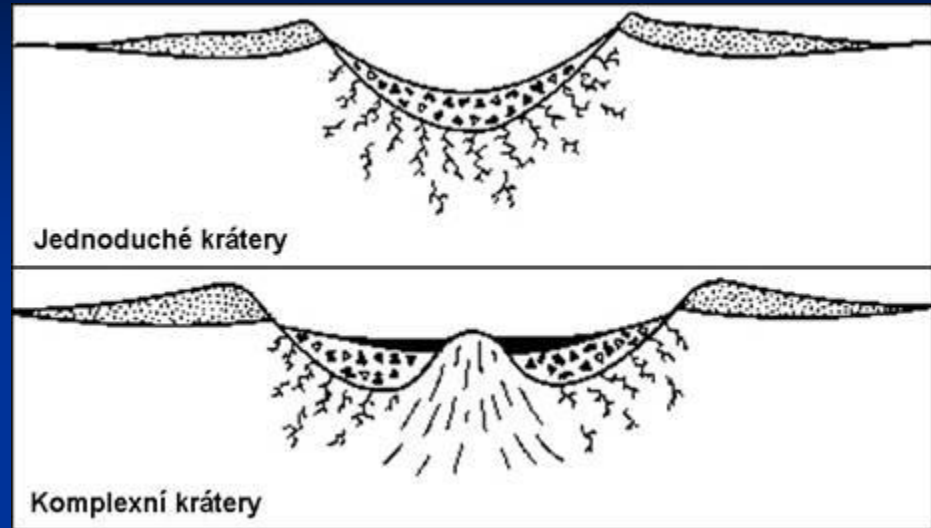
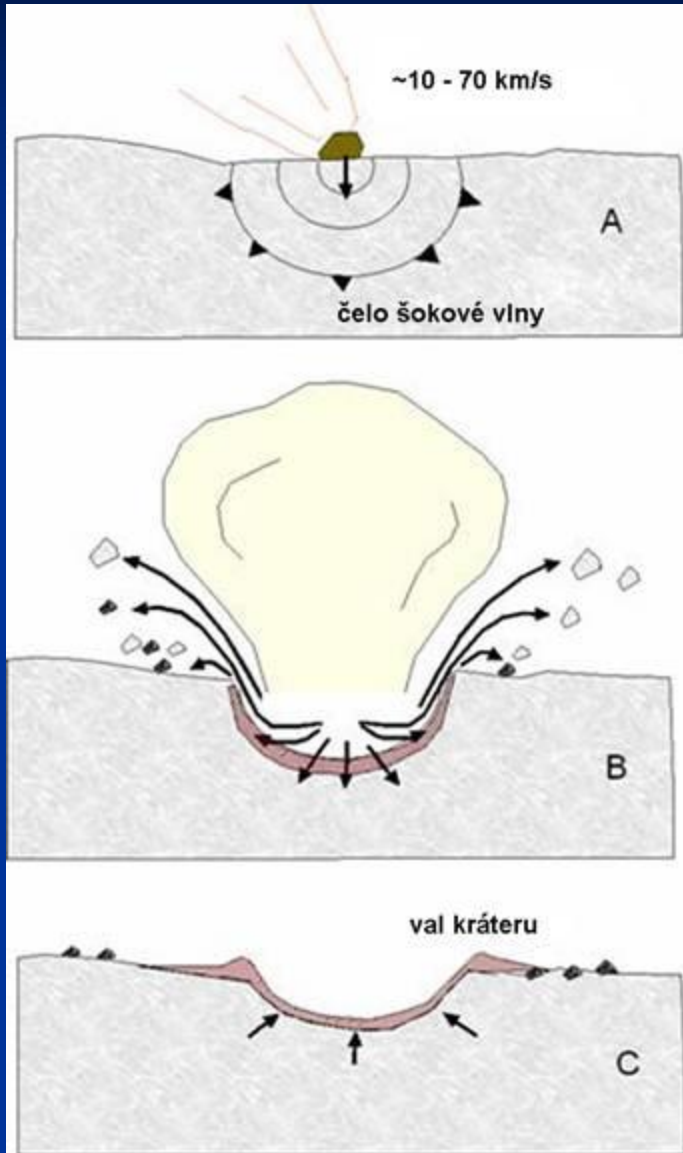
Tlakové textúry



Šoková metamorfóza

Dochádza k nej v dôsledku dopadu väčších, obyčajne extraterestrických telies (meteoritov) na zemský povrch. V okolí impaktových kráterov krátkodobo pôsobia na horniny extrémne vysoké tlaky a teploty.. Roztavené fragmenty horniny sú vymršťované do povetria a ich stuhnutím vznikajú horniny označované ako **tektity**. Tektity sa často nachádzajú aj vo vzdialenosti stoviek km od miesta dopadu impaktu. Známym príkladom sú **vltavíny** vyskytujúce sa pomerne v hojnom množstve na niekoľkých miestach v južných Čechách a vznikli pravdepodobne v dôsledku impaktu na území Nemecka. Fragmenty hornín metamorfovaných šokovou metamorfózou sa veľmi často vyskytujú na Mesiaci.

Aureola premeny

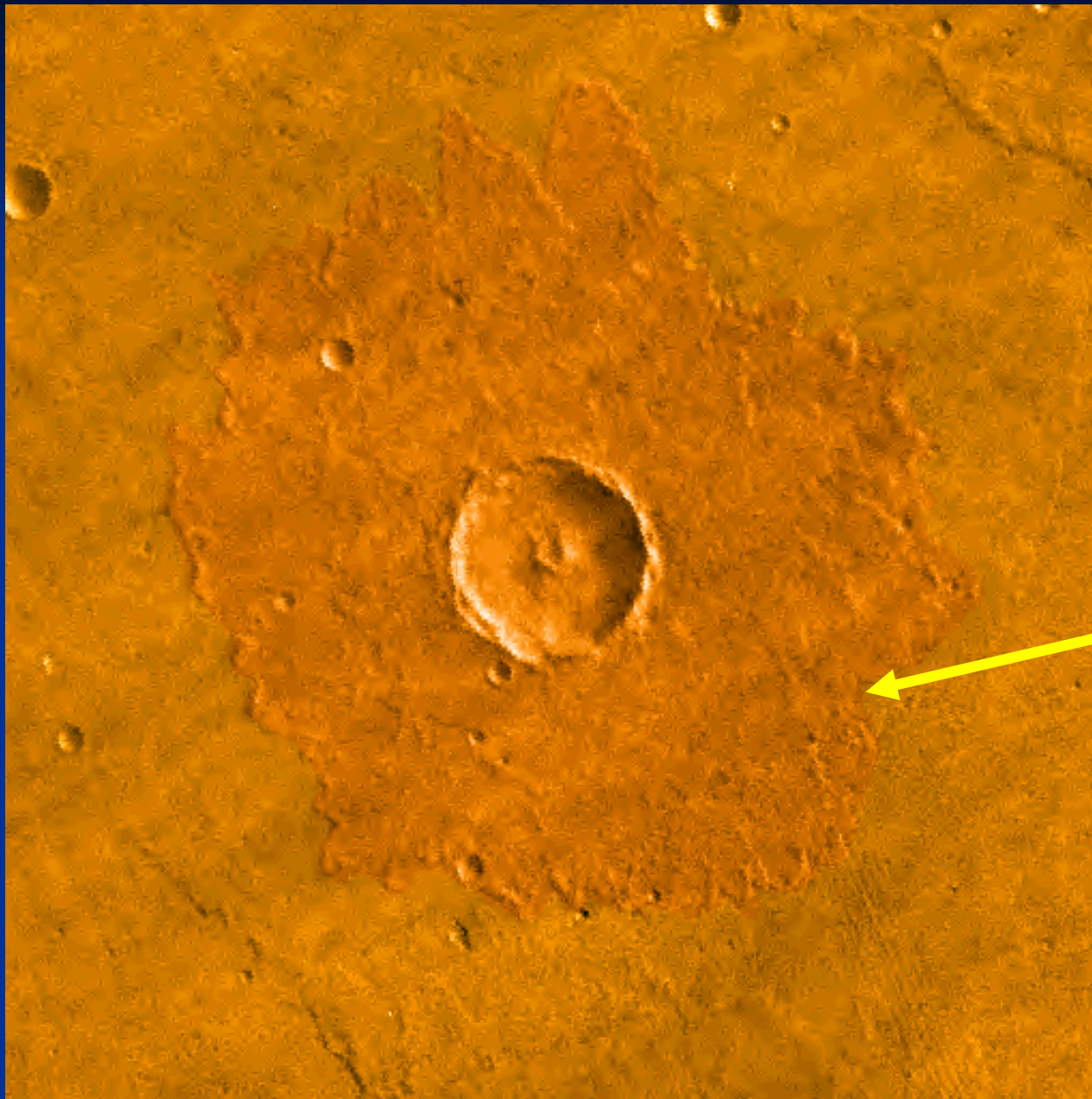


Produkty:

Podrvené horniny, brekciovitě horniny, impaktity (vltavín)

Kráter na Marse

Vyvrhnutý
materiál



Kráter v Arizone



Kráter zrejme vyhĺbil meteorit, ktorý sa začal rozpadávať v zemskej atmosfére. Na Zem dopadla len jeho polovica (asi 20 m široká), rýchlosťou 12 km/s. Kráter má šírku 1,2 km a hĺbku 170 m. Zem zasiahol asi pre 50 tis. rokmi. Patrí k najlepšie zachovalým a viditeľným na svete.

Priemer padajúceho telesa (v metroch)	Hmotnosť (v megatonách)	Interval (v rokoch)	Dôsledky
< 50	< 10	< 1	Meteory väčšinou nedopadnú na zemský povrch.
75	10–100	1 000	Železné meteority vytvoria krátery ako Barringerov kráter v Arizone; kamenné meteority explodujú vo vzduchu, ako napr. tunguzský meteorit; meteority, ktoré sa dostanú až na zemský povrch, zničia plochu o veľkomesta.
160	100–1 000	5 000	Železné i kamenné meteority dopadnú na zemský povrch; pri dopade na zem zničia metropoly o veľkosti New Yorku či Tokia.
350	1 000–10 000	15 000	Pri dopade na zem zničia plochu menšieho štátu; Pri dopade do vôd oceánu vznikajú vlny tsunami.
700	10 000–100 000	63 000	Pri dopade na zem zničia plochu o veľkosti stredne veľkého štátu; Pri dopade do vôd oceánu vznikajú obrovské vlny tsunami.
1 700	100 000–1 000 000	250 000	Dopad takéhoto kráteru zvíří prach s celosvetovými následky a zničí plochu o veľkosti veľkého štátu (Francúzsko).

impaktity



tektity

Termická metamorfóza

Termometamorfóza – hlavným faktorom je náhla zmena teploty, výsledkom je pretavenie, prepálenie hornín, príčinou môže byť vyliatie horúcej lávy, vyhorenie uhoľných slojov, vznikajú prepálené íly, porcelanity a pod.

- Lokálne zvýšenie teploty
- Postihuje najmä ílovité a piesčité horniny

Produkty:

Mierne metamorfované horniny - vypálené íly, porcelanity, jaspisy

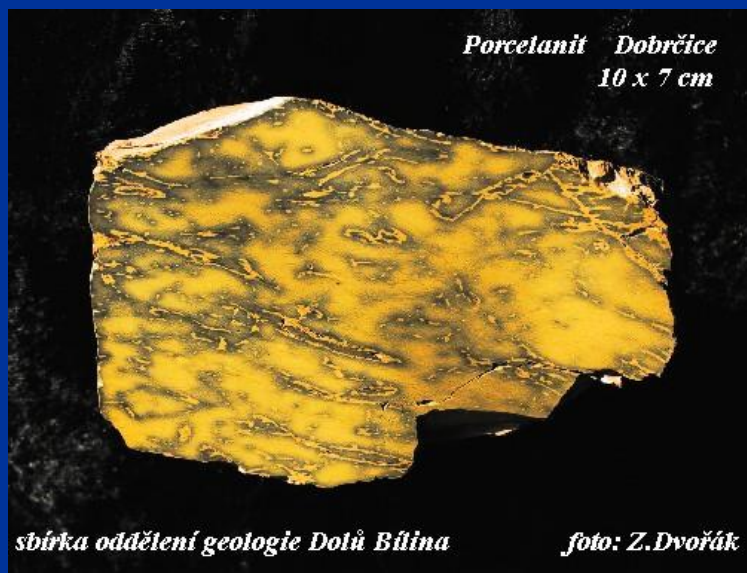
jaspis



láva



porcelanit



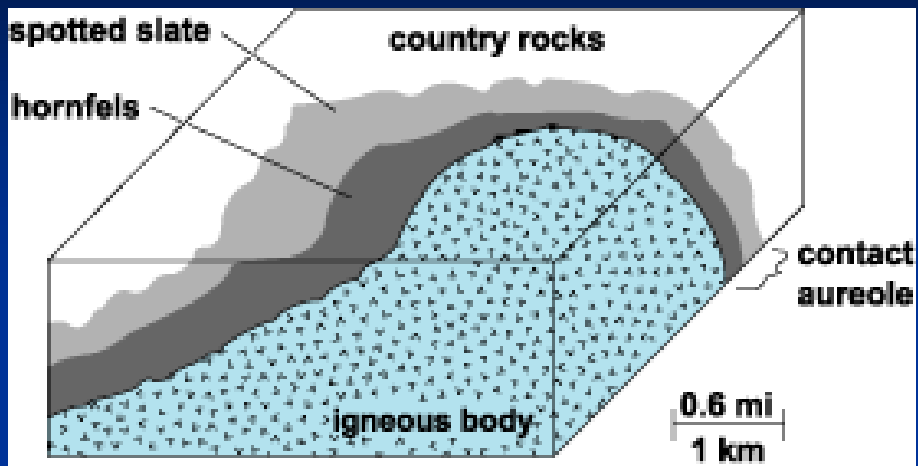
Kontaktná metamorfóza

Prebieha na kontakte magmatického telesa s okolitými horninami. Hlavný metamorfný faktor je teplota a chemicky aktívne látky. Intenzita premeny hornín závisí od polohy v kontaktnej aureole (kontaktnom dvore). Kontaktná aureola býva obyčajne 1 až 50 m široká. Najzreteľnejšie sa prejavuje v sedimentoch. K premene môže dôjsť nielen v okolitej hornine, ale aj v okrajovej časti magmatického telesa.

Produkty:

Kontaktné rohovce, plodové bridlice, škvrnité bridlice, erlány, kontaktné kvarcity, metamorfované konglomeráty, kontaktné mramory a dolomity

Kontaktná aureola



Kontaktné rohovce



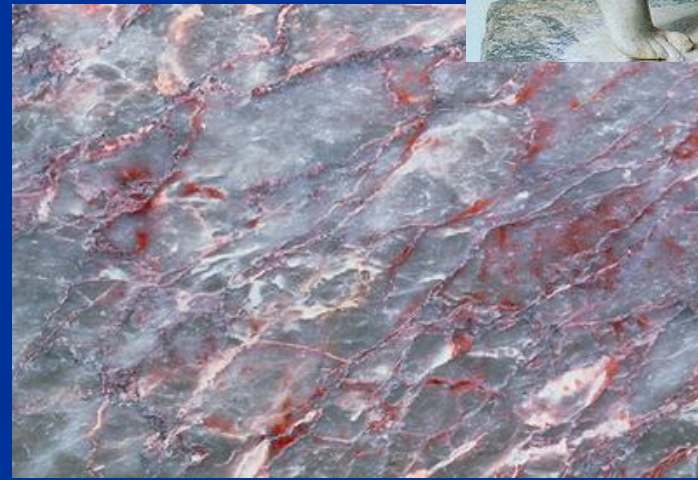
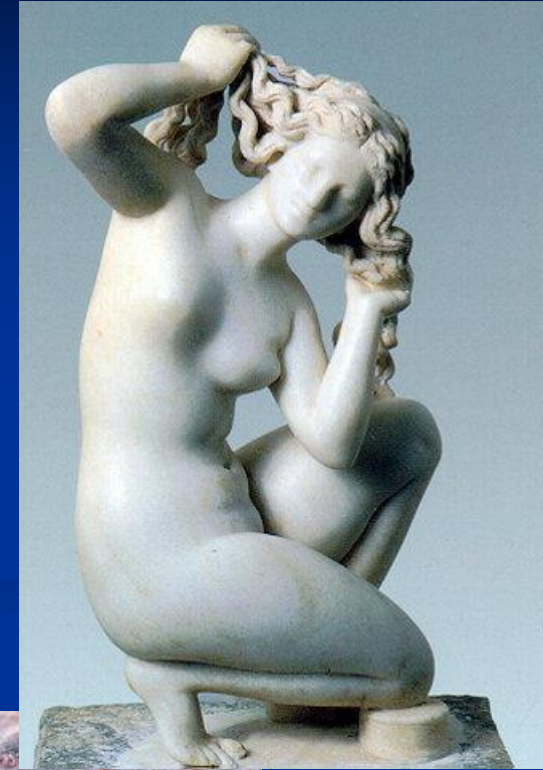


**Kontaktná
aureola
s mramorom
a železnou
rudou**

Kontaktná aureola



mramor



Mramor

Mramor alebo kryštalický vápenec je hornina skladajúca sa z 95 % kryštálov kalcitu (CaCO_3). Vzniká regionálnou aj kontaktnou premenou vápencov. Tento proces zapríčiňuje úplné prekryštalizovanie pôvodnej horniny. Čistý biely mramor vznikol metamorfózou veľmi čistého vápenca. Typické žilky a špirály mnohých farieb vznikajú vďaka čiastočkám rôznych minerálov, napr. íl, piesok, hematit alebo silicit, ktoré sa vyskytujú v kalcite. Zelené sfarbenie spôsobujú kremičité minerály obsiahnuté vo vápenci s vysokým obsahom horčíka. Používa sa ako ušľachtilý dekoračný kameň. V exteriéri dochádza k jeho poškodeniu najmä kyslým dažďom.

Metasomatóza

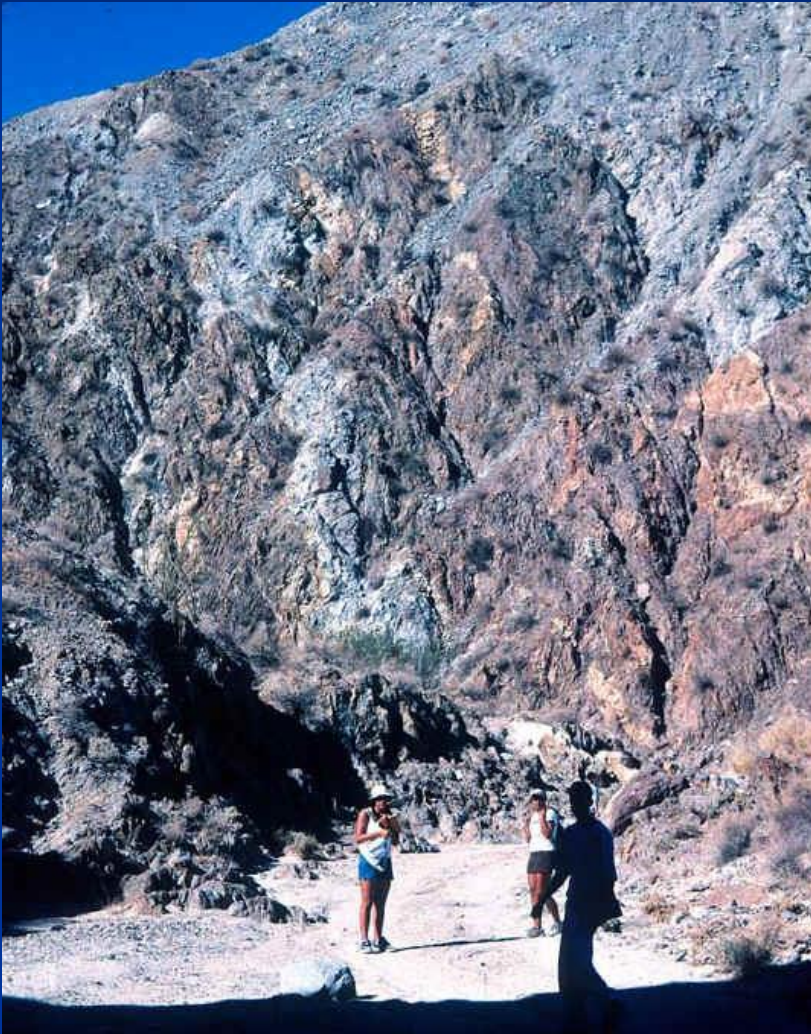
Metasomatóza je proces, pri ktorom dochádza k premene hornín a minerálov pôvodnej horniny prínosom látok z vonkajšieho prostredia. Spojená je s podstatnou zmenou chemického zloženia. Metasomatóza je podmienená pôsobením chemicky aktívnych roztokov a plynov. Pri metasomatóze sa látky v horninách prenášajú po puklinách, cez intergranulárne priestory, difúziou iónov kryštálovou štruktúrou minerálov. Migrácia je pritom veľmi pomalá a často trvá milióny rokov. Takto vznikajú ložiská niektorých vzácnych nerastných surovín.

- Hydrotermálna – roztoky
- Pneumatolitická – plyny

Metamorfné reakcie:

Albitizácia, fenitizácia, sericitizácia, greizenizácia, kaolinizácia, propylitizácia, serpentinizácia

Metamorfované horniny



Hydrotermálna premena medenné zrudnenie - Aljaška



Regionálna metamorfóza

Väčšina metamorfovaných hornín, ktoré vystupujú na zemskom povrchu, je produktom regionálnej metamorfózy, ku ktorej dochádza pri relatívne vysokej teplote za súčasného pôsobenia vysokého všesmerného tlaku. Regionálne metamorfované horniny majú takmer vždy výraznú foliáciu, ktorá indikuje vplyv diferenčného napätia počas metamorfnej rekryštalizácie. Sú rozšírené najmä v najintenzívnejšie deformovaných častiach pásmových pohorí. Budujú aj veľké zarovnané oblasti v najstarších častiach kontinentov (prekambrické štíty). Teploty počas regionálnej metamorfózy sa menia v širokom rozsahu. Teplota závisí predovšetkým od hĺbky umiestnenia horniny v zemskej kôre a na geotermickom gradiente (tepelnom toku) v danej oblasti. Diferenčné napätie počas metamorfného procesu je dôsledkom tektonických procesov, pri ktorých dochádza k neustálemu pohybu a stláčaniu zemskej kôry v priebehu horotvorných procesov. V závislosti od meniacich sa tlakovo-teplotných podmienkach môže tá istá materská (pôvodná) hornina v priebehu metamorfózy rekryštalizovať do viacerých druhov metamorfovaných hornín.

Regionálna metamorfóza

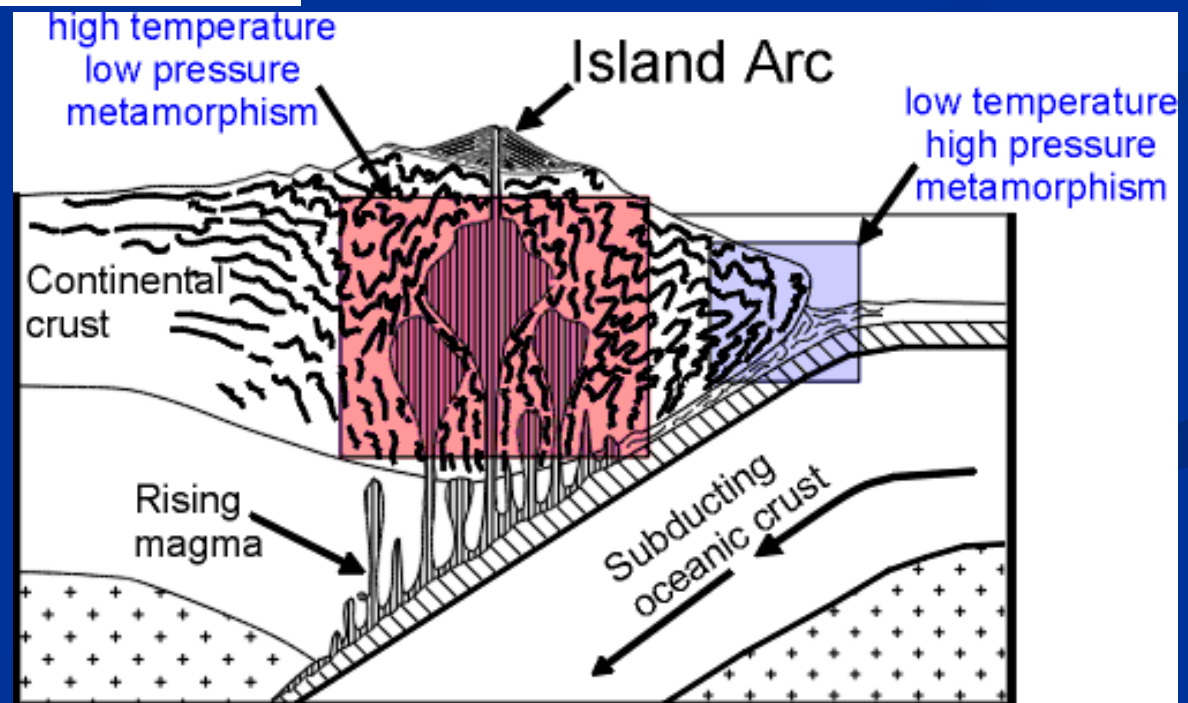
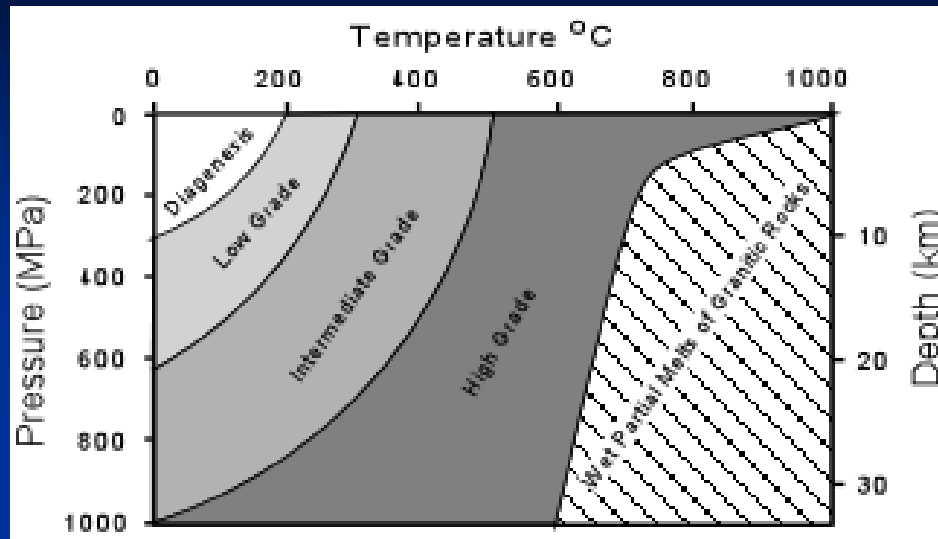
- Postihuje veľké regióny
- Faktory – tlak a teplota

Rôzne stupne premeny podľa zóny:

- Epizóna
- Mezozóna
- Katazóna

Vznikajú tzv. kryštalické bridlice

Zóny a podmienky premeny

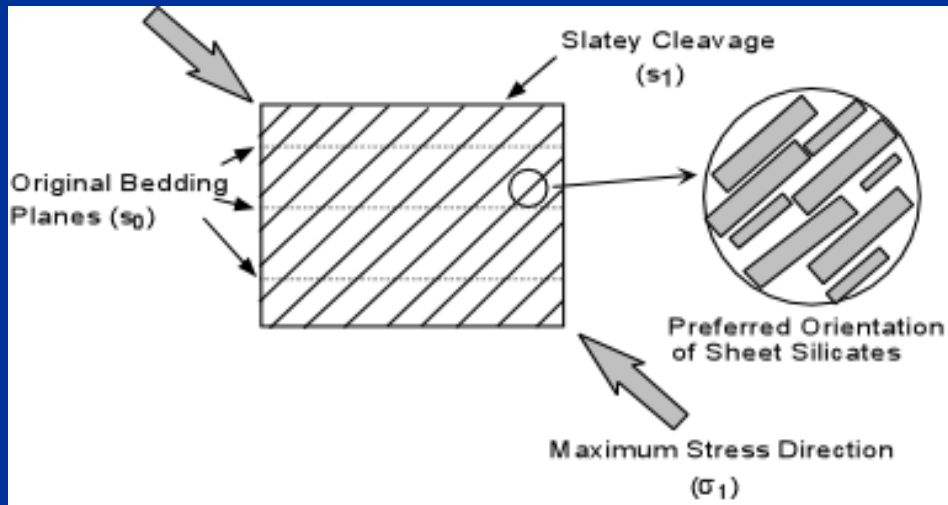


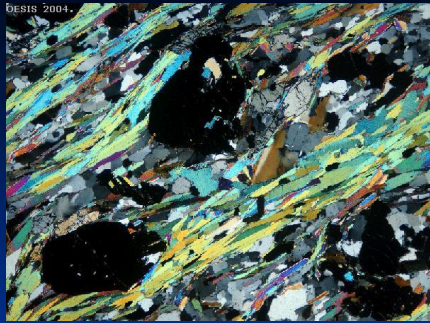
Produkty metamorfózy

Pôvodné horniny	Horniny po metamorfóze
Ílovité sedimenty	Epizóna – fylity Mezozóna - svory Katazóna - pararuly
Psamity	Kvarcity, metadroby, a iné
Psefity	metakonglomeráty
Karbonáty	Mramory, kryštalicke dolomity, magnezit
Slienité sedimenty	Erlány, paraamfibolity
Kyslé magmatity	Porfyroidy, sericitické bridlice, leptity, ortoruly, granulity
Bázické a ultrabázické magmatity	Zelené bridlice, modré bridlice, amfibolity, eklogity, chloritické bridlice, mastencové bridlice, serpentinity

Bridlice

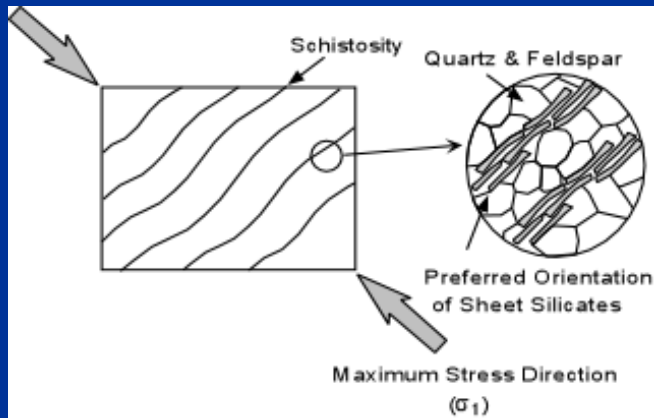
Bridlice sa tvoria pri nízkostupňovej metamorfóze rastom jemnozrnných minerálov ako sú napr. chlorit. Prednostná orientácia takýchto šupinkovitých minerálov zapríčiňuje, že sa bridlica ľahko štiepe paralelne s orientáciou minerálov, ktorá zapríčiňuje foliáciu.





So zvyšujúcou sa intenzitou premeny rastie obvykle veľkosť minerálov. Nadalej pretrváva prednostná orientácia minerálov najmä muskovitu a biotitu. Naopak živce a kremeň nemajú prednostnú orientáciu.

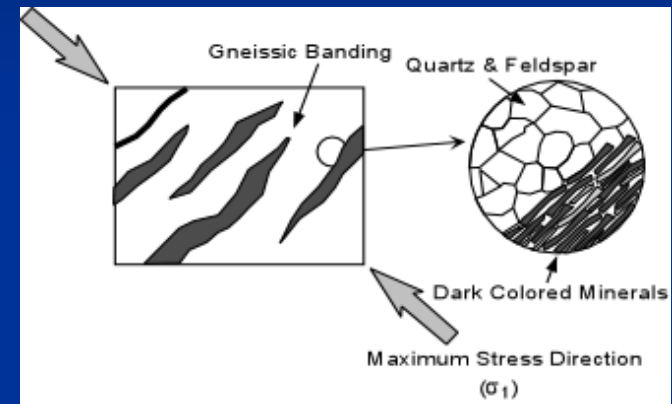
Svor



Rula

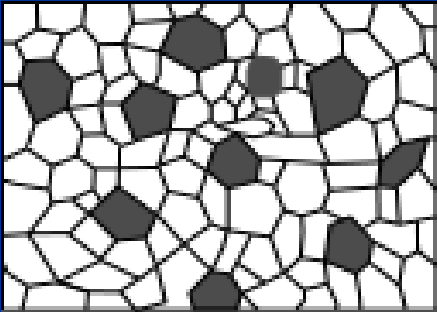
S narastaním stupňa metamorfózy sa vrstevnaté silikáty stávajú nestabilnými a začínajú kryštalizovať tmavé minerály, ako sú pyroxény a amfiboly. Tieto sa orientujú a často vytvárajú kľukatiace sa pásiky.

Pararula s granitom



Granulit

Pri vysokostupňovej metamorfóze je väčšina vodnatých a vrstevnatých silikátov nestabilná. Nové minerály sú prevažne bez preferovanej orientácie a výsledkom je štruktúra a textúra podobná hlbinným magmatickým horninám.



Ďalšie produkty regionálnej metamorfózy

metakvarcit



metakonglomerát



magnezit



serpentinit



Injekčná metamorfóza

- Regionálny charakter
- Vznik pri magmatických intrúziách, injektáži magmy
- Postihuje rôzne typy hornín

Produkty: migmatity – horniny hybridného charakteru, charakteristické zvláštnymi textúrami

Migmatit (z gréckého slova migma – zmes) je hornina hybridného charakteru, ktorá tvorí hranicu medzi premenenými a vyvretými horninami. Hornina sa skladá z dvoch zložiek, rulovej a granitoidnej. Často má podobu páskovaných rúl, od ktorých ho makroskopicky často nemožno rozlíšiť.

Injektovanie magmy



Migmatity

