

Struktura přednášky

Minerály skupiny spinelu (spinelidy) - AB_2O_4

- Krystalochemie spinelidů
- Přepočítání a grafické znázornění chemického složení
- Al-spinely
- Cr-spinely
- Fe^{3+} -spinely

Skupina spinelu (spinelidy)

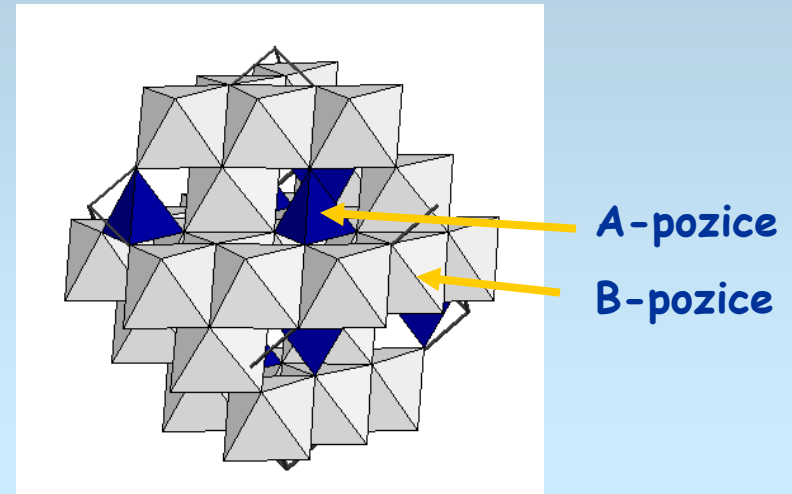
- AB_2O_4
- Kubický
- Často krystalový tvar - nejčastěji osmistěn, vzácněji dvanástistěn kosočtverečný, vzácně čtyřstěn
- Hojně i zrnité agregáty nebo kusový
- Spinelidy se dělí na základě dominantního trojmocného ionu do tří řad:
 - Al-spinely
 - Fe^{3+} -spinely
 - Cr-spinely

Krystalochemie minerálů ze skupiny spinelu



➤ A-pozice: Mg, Fe^{2+} , Zn, Mn, Ni

➤ B-pozice: Al, Cr, Fe^{3+} , V, Ti



- Struktura se skládá z kubicky uspořádaných kyslíků, v nichž je kationy obsazena jedna čtvrtina tetraedrických pozic (pozice A) a polovina oktaedrických pozic (pozice B)
- Spinelidy s normální a inverzní strukturou
- U **normální struktury** je méně zastoupený (obvykle dvojmocný) kation omezen na tetraedrickou pozici A a více zastoupený (obvykle trojmocný) prvek je omezen na oktaedrickou pozici B.
- U **inverzní struktury** vstupuje méně zastoupený kation do pozice B a více zastoupený kation je rozdělen mezi pozice A a B.

Spinelidy

➤ Al-spinely

název	T-pozice	O-pozice	charakter struktury
Hercynit	Fe ²⁺	Al ₂	Normální
Spinel	Mg	Al ₂	Normální
Gahnit	Zn	Al ₂	Normální
Galaxit	Mn _{0,71} Al _{0,29}	Mn _{0,9} Al _{1,71}	29% Inverzní

➤ Cr-spinely

název	T-pozice	O-pozice	charakter struktury
Chromit	Fe ²⁺	Cr ₂	Normální
Magnesiochromit	Mg ²⁺	Cr ₂	Normální

Spinelidy

➤ Fe-spinely

název	T-pozice	O-pozice	charakter struktury
Magnetit	Fe^{3+}	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}$	Inverzní
Magnesioferrit	$\text{Mg}_{0,1}\text{Fe}^{3+}_{0,9}$	$\text{Mg}_{0,9}\text{Fe}^{3+}_{1,1}$	Z 90% inverzní
Franklinit	Zn	Fe^{3+}_2	Normální
Jaccobsit	$\text{Mn}_{0,85}\text{Fe}^{3+}_{0,15}$	$\text{Mn}_{0,15}\text{Fe}^{3+}_{1,85}$	Z 15% Inverzní
Trevorit	Fe^{3+}	Fe^{3+}Ni	Inverzní

➤ Ti-spinely

Někdy se přiřazují k Fe-spinelům, ale na rozdíl od nich neobsahují Fe^{3+}

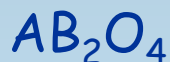
Název	T-pozice	O-pozice	Charakter
Ulvöspinel	Fe^{2+}	$\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}$	100% inverzní
Quandilit	Mg^{2+}	$\text{Mg}^{2+}\text{Ti}^{4+}$	100% inverzní

Přepočet a grafické znázornění

B-site
Al
Cr
Si
Fe ³⁺
Fe ²⁺
V ³⁺
subsum 2

A-site
Ti ⁴⁺
Mg
Fe ²⁺
Mn ²⁺
Zn ²⁺
Ni ²⁺
Ca
subsum 1

SUM 3
O 4



- Přepočet chemických analýz spinelidů na 3 kationy
- Všechny trojmocné kationy dám do pozice B (Al, Cr, V) (zvýšený podíl Si indikuje probíhající alterace - popisované z Cr-spinelů)
- Pozor na ulvöspinelovou komponentu $Ti^{4+}Fe^{2+}_2O_4 \Rightarrow$ kolik Ti^{4+} dám do pozice A, pak dvojnásobek Fe^{2+} dám do pozice B
- Všechny dvojmocné kationy (mimo Fe) dám do pozice A
- Zbylé Fe přerozdělím na Fe^{2+} do pozice A a Fe^{3+} do pozice B
- Na základě přerozdělení Fe na Fe^{2+} a Fe^{3+} dopočtu zpětně obsah FeO a Fe_2O_3 (v původní mikrosondové analýze stanoveno vše jako FeO)

Přepočet a grafické znázornění

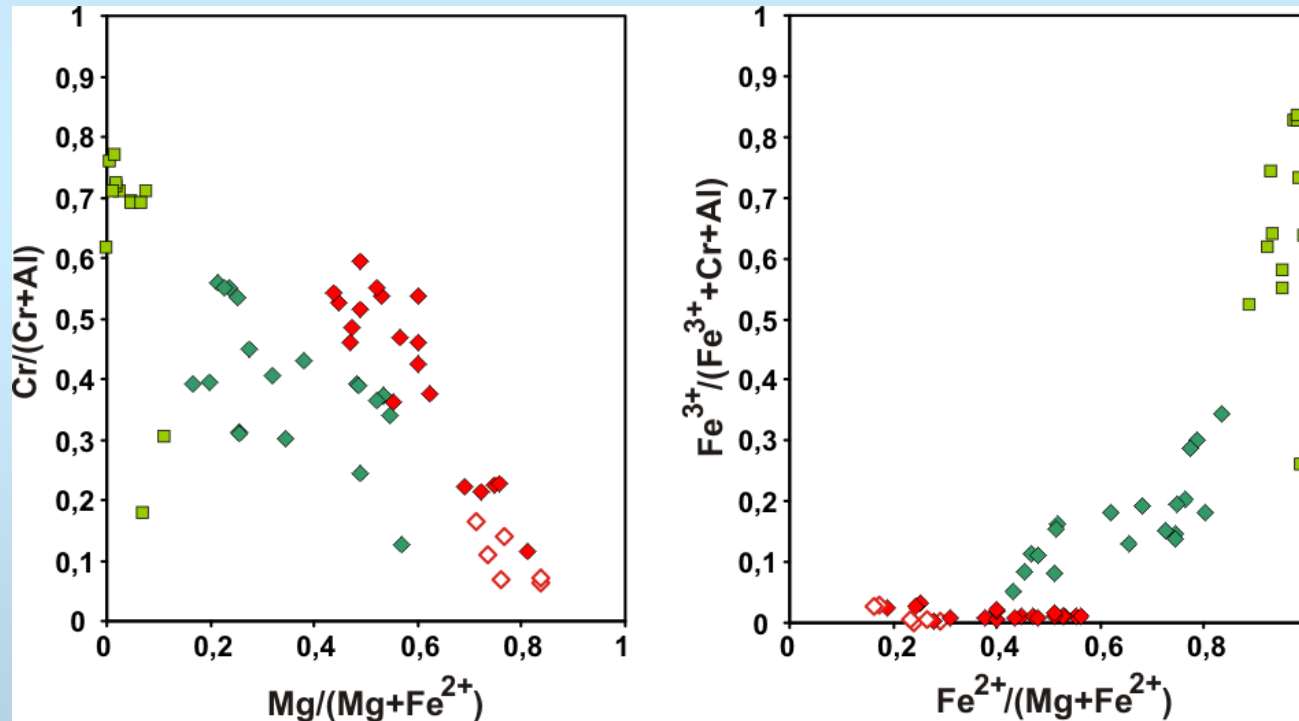
- Vhodná kombinace kationů v pozici A (osa x) a v pozici B (osa y) např. pro Cr-spinely

v grafech tzv. Cr číslo (Cr#) - dáno jako poměr $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$

Mg číslo (Mg#) - dáno jako $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$

Fe^{3+} číslo ($\text{Fe}^{3+\#}$) - dáno jako $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Cr} + \text{Al})$

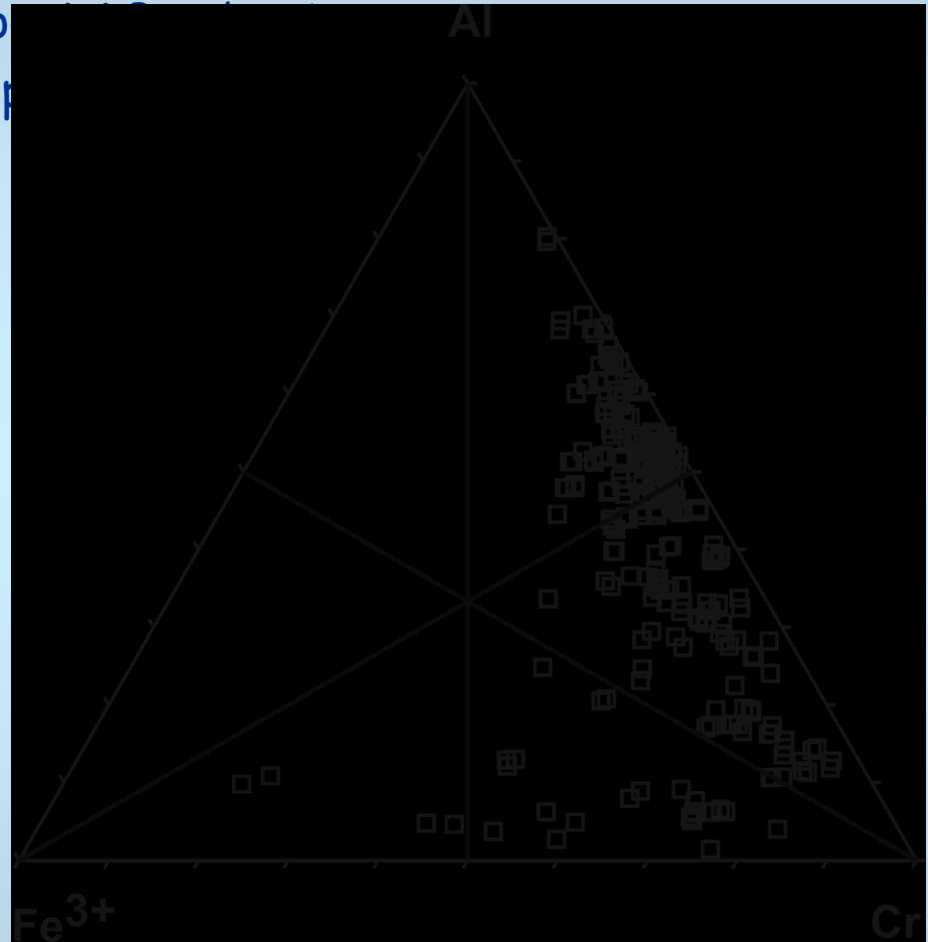
Fe číslo (Fe#) - dáno jako $\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$



Chemické složení Cr-spinelů z oblasti ranského masivu a kutnohorského krystalinika
(Čopjaková, Štědrá 2007)

Přepočet a grafické znázornění

- Trojúhelníkové grafy
- Znázornění 3 hlavních kationů v pravoúhelníkové projekci je vhodnější než v trojúhelníkové, kde variabilita v B-
pravoúhelníkové projekci je vhodnější, např. kde variabilita v B-
pravoúhelníkové projekci je vhodnější, např. kde variabilita v B-



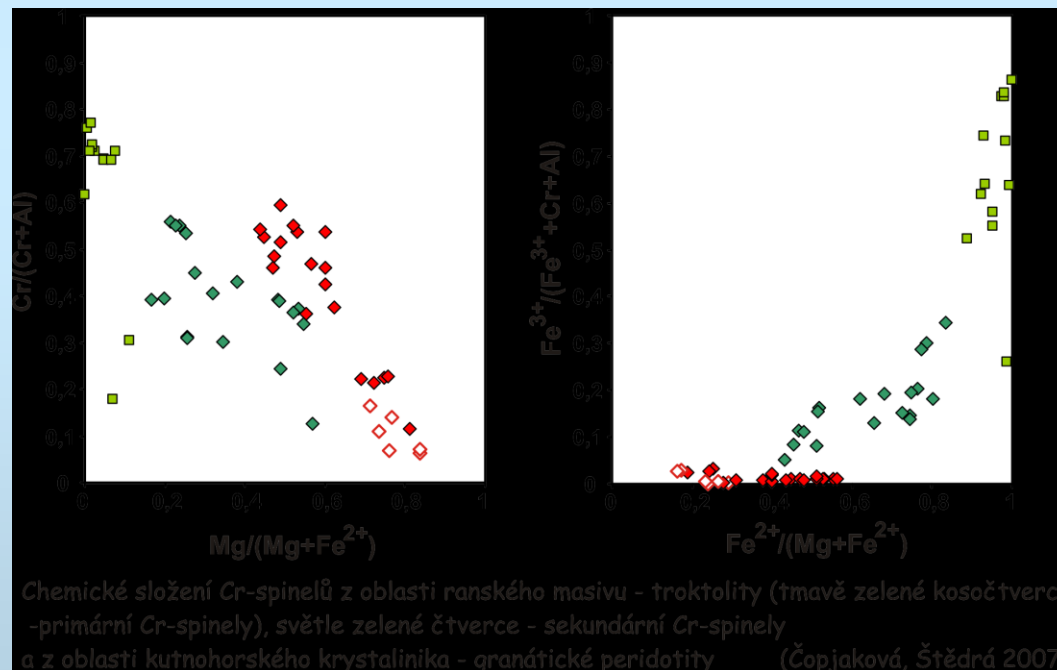
Chemické složení detritických Cr-bohatých spinelů v kulsmké sedimentární pánvi
(Čopjaková 2007)

Spinelidy

- Velmi dobrá mísitelnost za vysokých teplot mezi jednotlivými spinelidy i v různých řadách
- Často tvoří isomorfní směs mnoha koncových členů např. spinel-hercynit-chromit-magnetit; chromit-hercynit-magnetit-franklinit

A-site						B-site							catsum	ansum
Mg	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Ti ⁴⁺	subsum	Al	Cr	Si	Fe ³⁺	Fe ²⁺	V ³⁺	subsum		
0,27	0,67	0,03	0,01	0,03	1,00	0,85	0,87	0,01	0,21	0,05	0,01	2,00	3	4
0,02	0,82	0,05	0,13	0,01	1,00	0,47	1,10	0,02	0,37	0,02	0,01	2,00	3	4

- Často jsou spinelidy výrazně zonální - vývoj přes několik koncových členů; nebo různých generací v rámci jedné horniny



⇒ Problém s terminologií - jak je jednoduše nazvat?

Al-spinely

Spinel $MgAl_2O_4$

- Čistý je čirý, často je zbarvený - barva v závislosti na příměsi; modravý picotit či ceylonit (s Fe^{2+}), zelený chlorospinel (s Fe^{3+}), červený chromspinel (s Cr)
- Typický vysokoteplotní minerál v horninách metamorfovaných za vysokých teplot
 - Často se vyskytuje v metamorfovaných dolomitických vápencích (mramorech) spolu s diopsidem a forsteritem (např. v pestré jednotce moldanubika - minerální asociace Cal+Dol+Fo+Phl+Ch+Cho - (Čopjaková et al. 2008) - směs spinel-gahnit)

A-site						B-site							
Mg	Fe2+	Mn2+	Zn2+	Ti4+	subtot	Al	Cr	Fe3+	Fe2+	V3+	subtot	catsum	ansum
0,95	0,04	0,00	0,01	0,00	1,00	1,99	0,00	0,01	0,00	0,00	2,00	3	4
0,83	0,03	0,00	0,14	0,00	1,00	1,97	0,00	0,03	0,00	0,00	2,00	3	4

- Dále přítomen i v granulitech (řada spinel-hercynit) či HT metapelitech
- Magmatické horniny s přebytkem Al_2O_3 - pegmatity, gabra
- Je typickým minerálem aluvií, kde doprovází jiné drahokamové nerosty. U nás v pyropových štěrcích v Českém středohoří (Třebívlice, Měrunice)

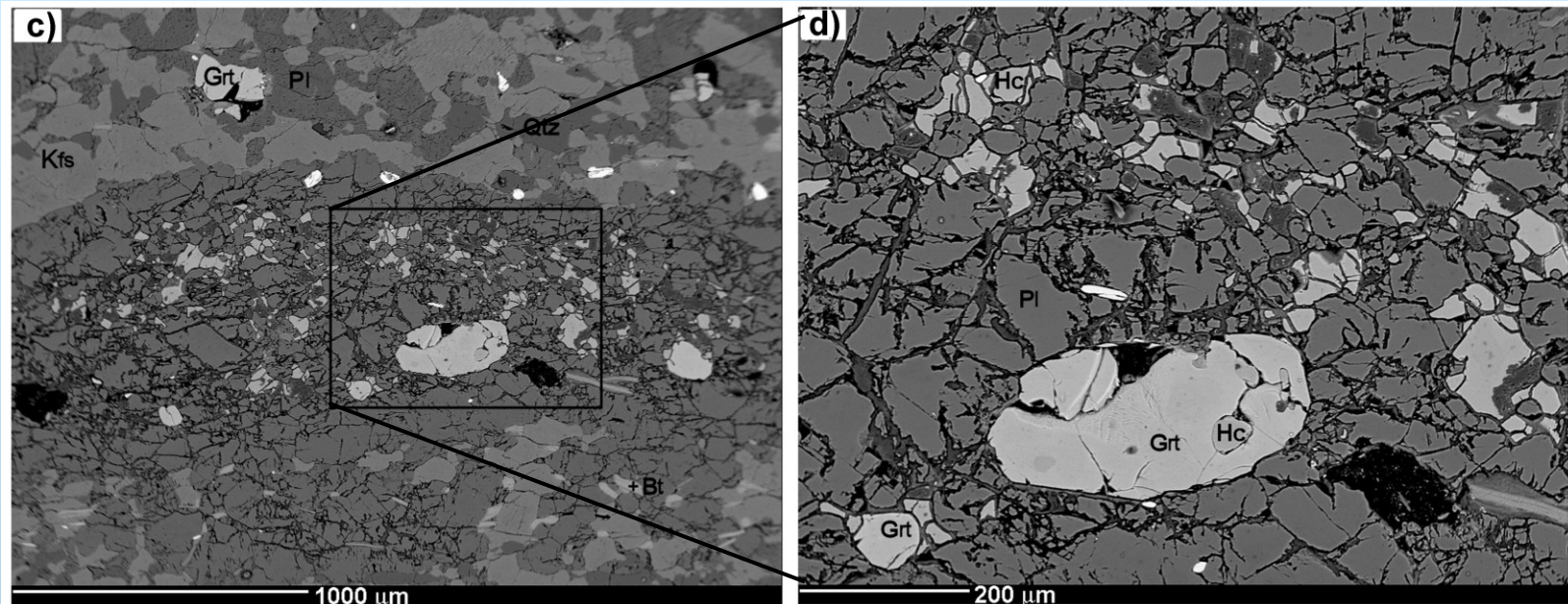
Al-spinely

Hercynit $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_4$

- většinou v metamorfovaných Fe bohatých sedimentech
- Méně často v některých bazických a ultrabazických vyvřelinách, pyroxenitech a felsických granulitech

Tabulka - spinelidy z řady hercynit-spinel z felsických granulitů - (Čopjaková 2007)

A-site						B-site							
Mg	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Ti ⁴⁺	subsum	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	V ³⁺	subsum	catsum	ansum
0,43	0,55	0,00	0,02	0,00	1,00	1,91	0,00	0,09	0,00	0,00	2,00	3	4
0,40	0,58	0,00	0,02	0,00	1,00	1,91	0,00	0,08	0,00	0,00	2,00	3	4



Granát-hercynit-plagioklasová doména ve felsickém granulitu vzniklá rozpadem kyanitu ve fázi isothermální dekomprese- hercynit částečně zatlačovaný AlOOH - diasporem? (Čopjaková 2007)

Al-spinely

Gahnit $ZnAl_2O_4$

- Obvykle isomorfní směs se spinelem a hercynitem
- Charakteristický pro některé nečisté mramory (příměs Al) - u nás v poličském krystaliniku a skupině Hraničná ve staroměstském krystaliniku (minerální asociace Cal+Dol+Tr+Phl+Di) (Novák, Houzar, Šrein 1997) a dále v pestré jednotce moldanubika (minerální asociace Cal+Dol+Fo+Phl+Ch+Cho) (Čopjaková et al. 2008) - směs gahnit-spinel

A-site						B-site							
Mg	Fe2+	Mn2+	Zn2+	Ti4+	subtotat	Al	Cr	Fe3+	Fe2+	V3+	subtotal	catsum	ansum
0,16	0,00	0,00	0,83	0,00	1,00	1,98	0,01	0,01	0,00	0,00	2,00	3	4
0,19	0,04	0,00	0,77	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	3	4

- někdy v granitických pegmatitech (Maršíkov, Otov)
- v některých metapelitech (granátické svory se staurolitem - ve svrateckém krystaliniku tvoří drobná zrna ve staurolitu) - směs gahnit-hercynit (Buriánek, Čopjaková 2008)

A-site								B-site									
Mg	Fe2+	Mn2+	Zn2+	Ni2+	Ti4+	Ca	subsum	Al	Cr	Si	Fe3+	Fe2+	V3+	subsum	SUM	O	
0,07	0,37	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	3	4	

Galaxit $MnAl_2O_4$

- vzácný, popsán pouze na manganových ložiscích žilného typu

Cr-spinely

Chromit-magnesiochromit

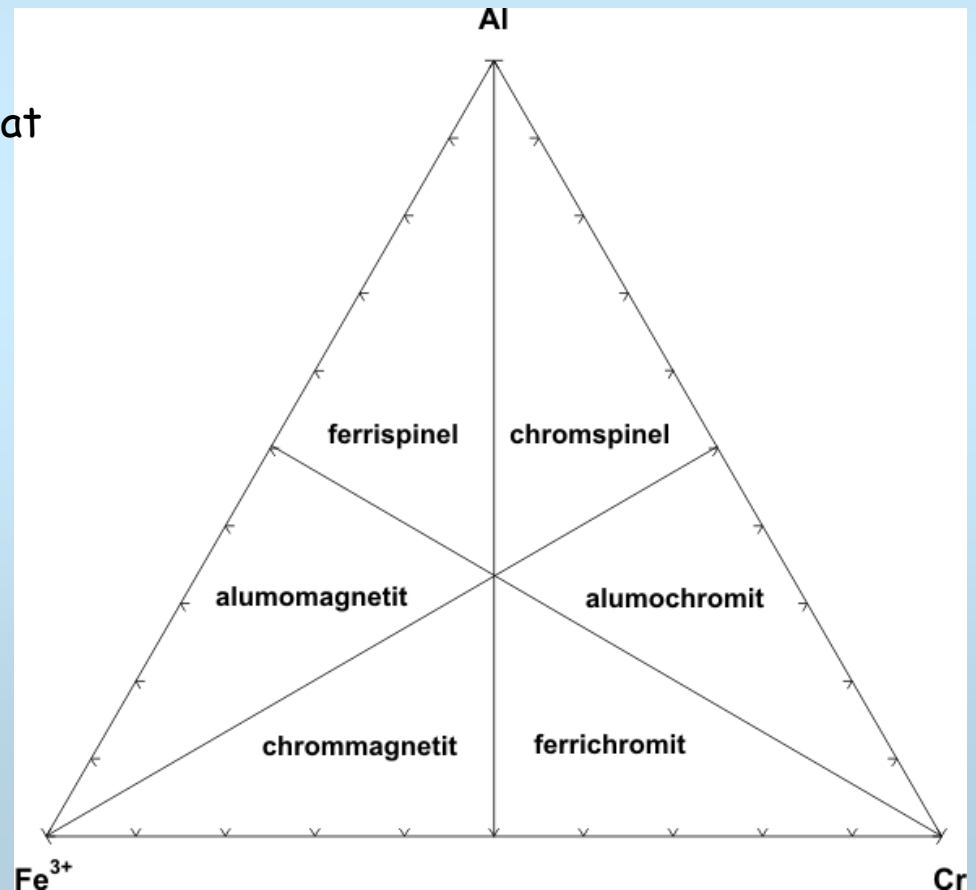
- Cr-spinely krystalizují v ranných stádiích z různých typů bazických magmat.
- Cr-spinely jsou extrémně citlivé na složení magmatu a petrogenezi mateřské horniny.
- Hojně využití geotermobarometrii ultrabazik
- Mezi těžkými minerály v sedimentárních horninách zaujímají významné místo Cr-spinely.
- Detritické Cr-spinely jsou důležitým indikátorem provenience mafických a ultramafických hornin a představují tak důležitý minerál pro paleogeografické rekonstrukce. Chemické složení spinelů poskytuje informace o tektonickém prostředí hornin, z nichž pocházejí.
- Mezi autory, kteří využili spinely pro účely určení provenience, patří např. Utter (1978), Press (1986), Pober a Faupl (1988), Arai a Okado (1991), Cookenboo et al. (1997) a Oberhänsli et al. (1999).

Cr-spinely

- Cr-spinely (Mg,Fe^{2+})(Cr,Al,Fe^{3+}) $_2\text{O}_4$
- V souladu s novou terminologií rozlišován **chromit** (FeCr_2O_4); **magnesiochromit** (MgCr_2O_4); **nichromit** (NiCr_2O_4); **zincchromit** (ZnCr_2O_4)
- ...

Klasifikační trojúhelník podle Stevense (1944), založený na obsahu trojmocných ionů v pozici B - stará klasifikace

dodnes se v literatuře můžeme setkat se starší terminologií při klasifikaci Cr-spinelů - dosud běžně užíván zejména termín ferrichromit



Cr-spinely

- Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující chemické složení Cr-spinelů patří:
 - PT podmínky
 - složení taveniny
 - stupeň parciálního tavení
 - frakční krystalizace
 - reekvilibrace v subsolidu s koexistujícími silikáty
 - fO_2

Irvine 1965, Hill a Roeder 1974, Medaris 1975, Pinsent a Hirst 1977,
Fisk a Bence 1980, Dick a Bullen 1984, Kepezhinskas et al. 1993

Cr-spinely

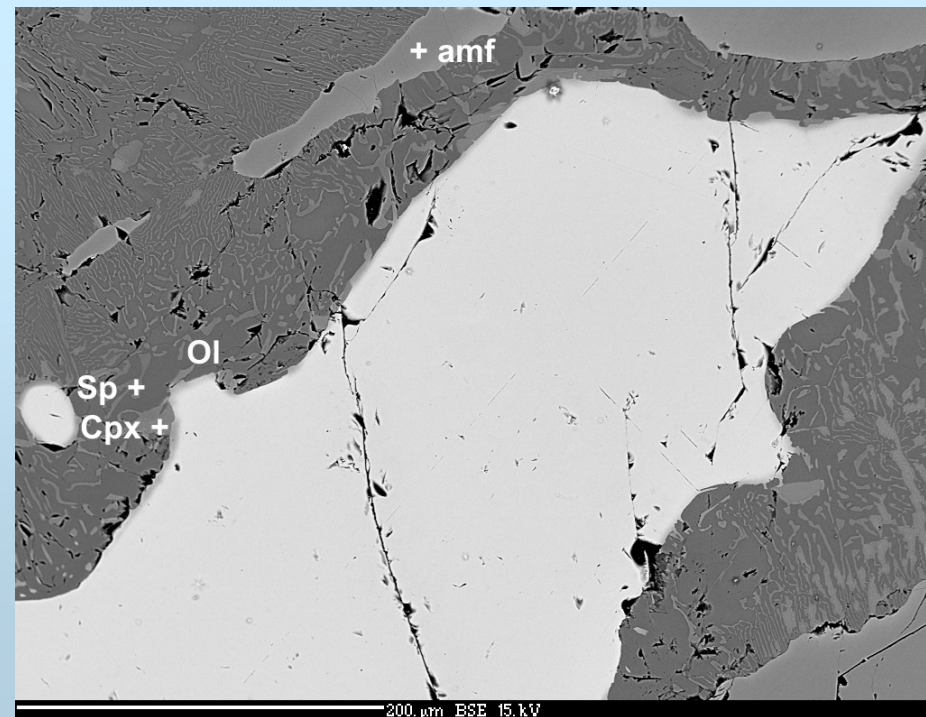
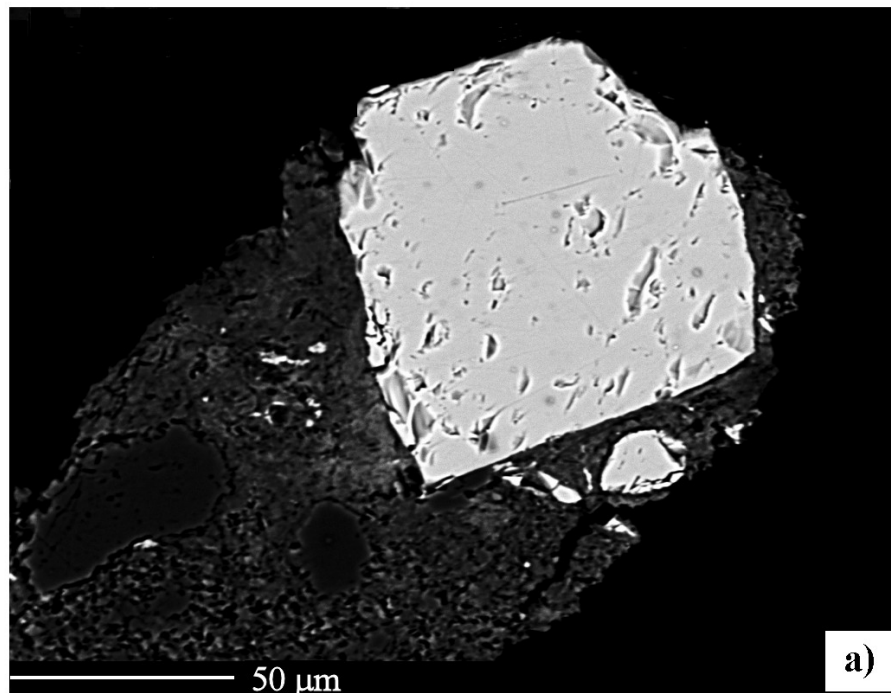
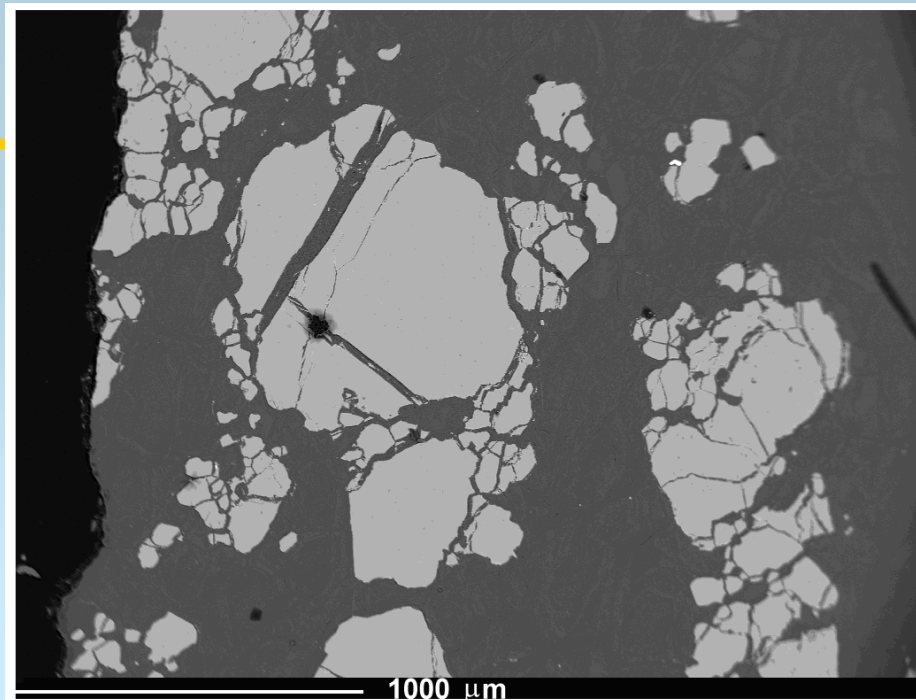
- Během frakční krystalizace nebo parciálního tavení je Al silně zakoncentrováván v tavenině a z ní krystalizujících Cr-spinelích. Cr-spinely v restitu jsou nabohacovány Cr a Mg.
- poměr Fe^{2+}/Fe^{3+} v Cr-spinelích odráží fO_2 , přičemž během výstupu magmatu fO_2 významně roste a poměr Fe^{2+}/Fe^{3+} tedy klesá (Sato 1978).
- Tlak významně ovlivňuje distribuční koeficient Cr u Cr-spinelů, v hloubkách při nichž vznikají spinelové peridotity je blízký 1, v nízkých tlacích je několikanásobně vyšší (Kurat et al. 1980, Dick a Bullen 1984).
- Frakcionace Mg a Fe^{2+} mezi spinely a silikátovou taveninou je silně teplotně závislá

Cr-spinely v BSE obraze

původ z „peridotitů“

často kusové či zrnité agregáty
ale i automorfní (oktaedry)

neobsahují inkluze taveniny



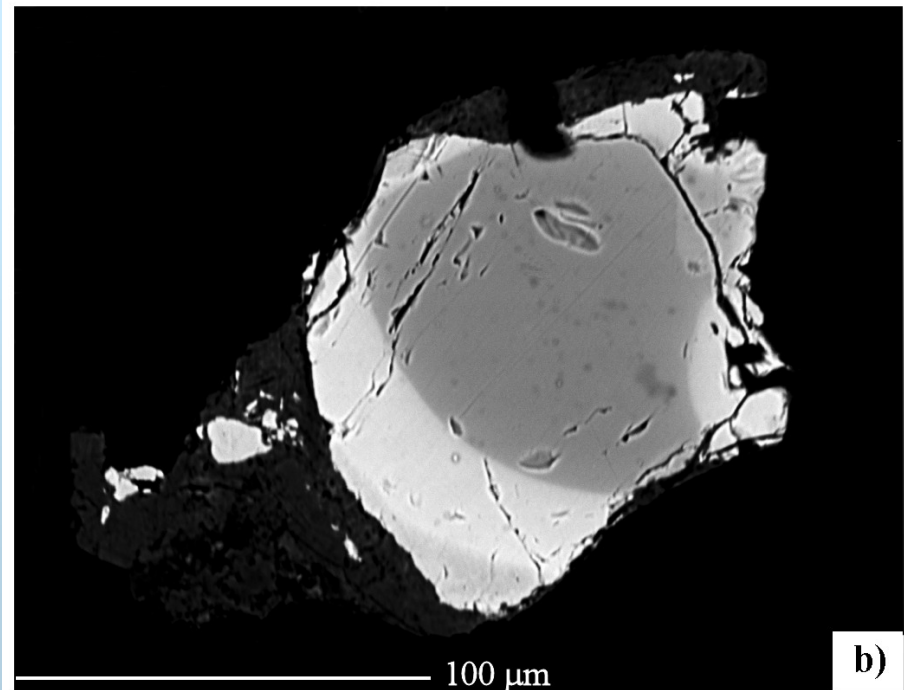
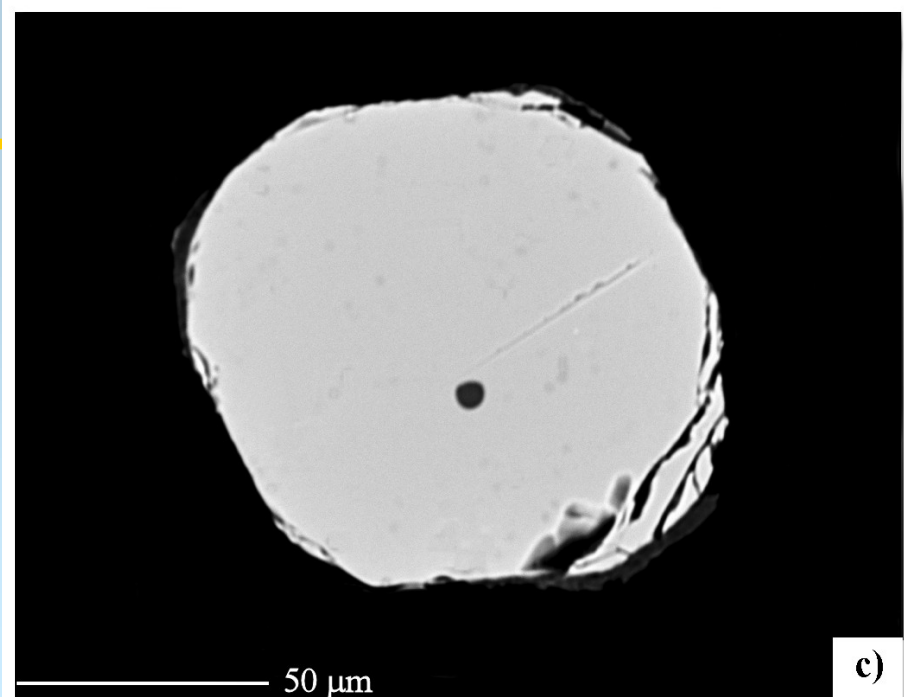
Cr-spinely v BSE obraze

původ z „vulkanitů“

nebývají kusové, často automorfní až hypautomorfní, menší velikosti, mnohdy tvoří inkluze v jiných minerálech

mohou obsahovat inkluze taveniny

často jsou zonální

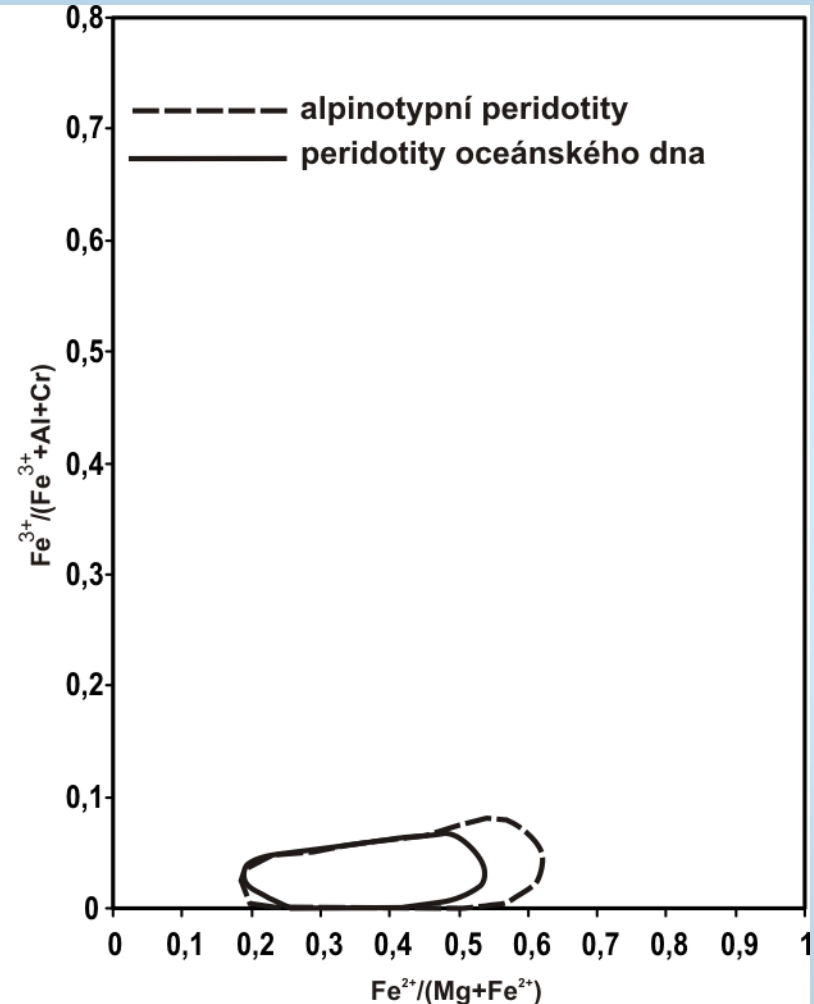
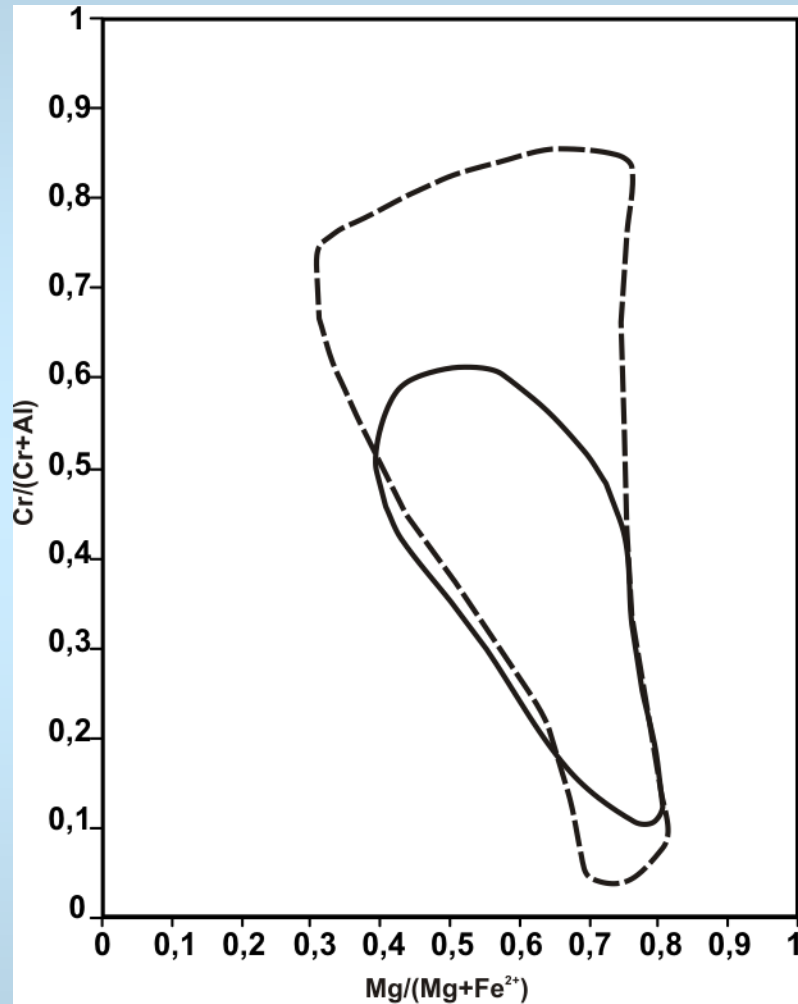


Cr-spinely vulkanické vs. peridotitové

- Plutonické a vulkanické komplexy z různých tektonických prostředí vykazují význačné rozdíly ve složení Cr-spinelů (Dick a Bullen 1984, Arai 1992, Kepenzhinskas et al. 1993).
- Základní rozlišovací kritérium mezi vulkanickými a peridotitovými Cr-spinely je obsah TiO_2 a poměr $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$.
- Cr-spinely peridotitů mají obvykle poměr $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} > 3$, kdežto z vulkanických hornin mají tento poměr < 4 .
- Cr-spinely z plutonických hornin mají obsah $\text{TiO}_2 < 0,25$ hm.%.
- Vulkanické Cr-spinely s obsahem $\text{TiO}_2 < 0,25$ hm.% jsou velice neobvyklé, takto nízké obsahy Ti byly zaznamenány pouze u některých Ti chudých MORB bazaltů, tholeiitů ostrovních oblouků a boninitů.

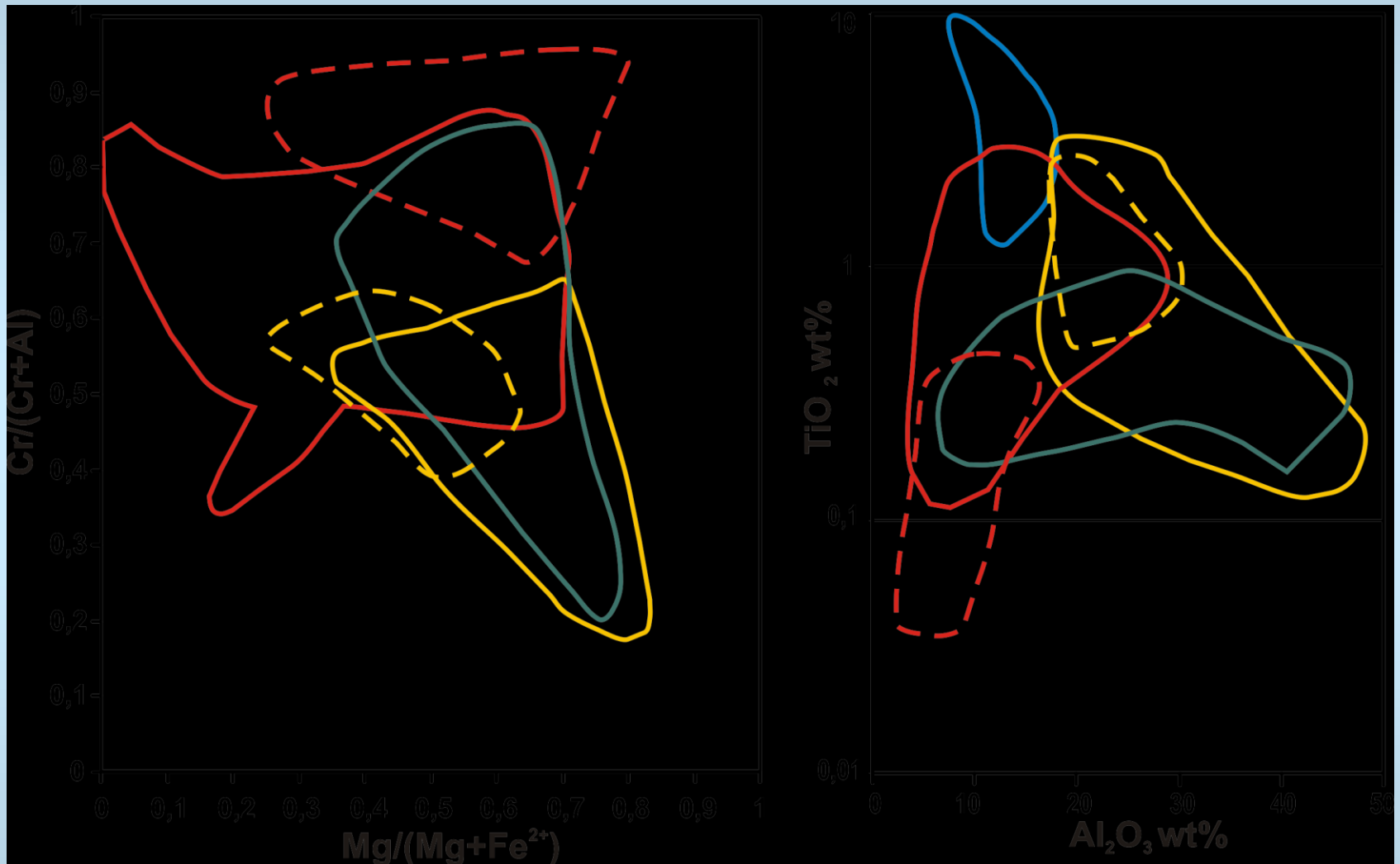
Dick a Bullen (1984); Lee (1999); Lenaz et al. (2000); Barnes a Roeder (2001); Kamenetsky et al. (2001)

Cr-spinely z plášťových peridotitů



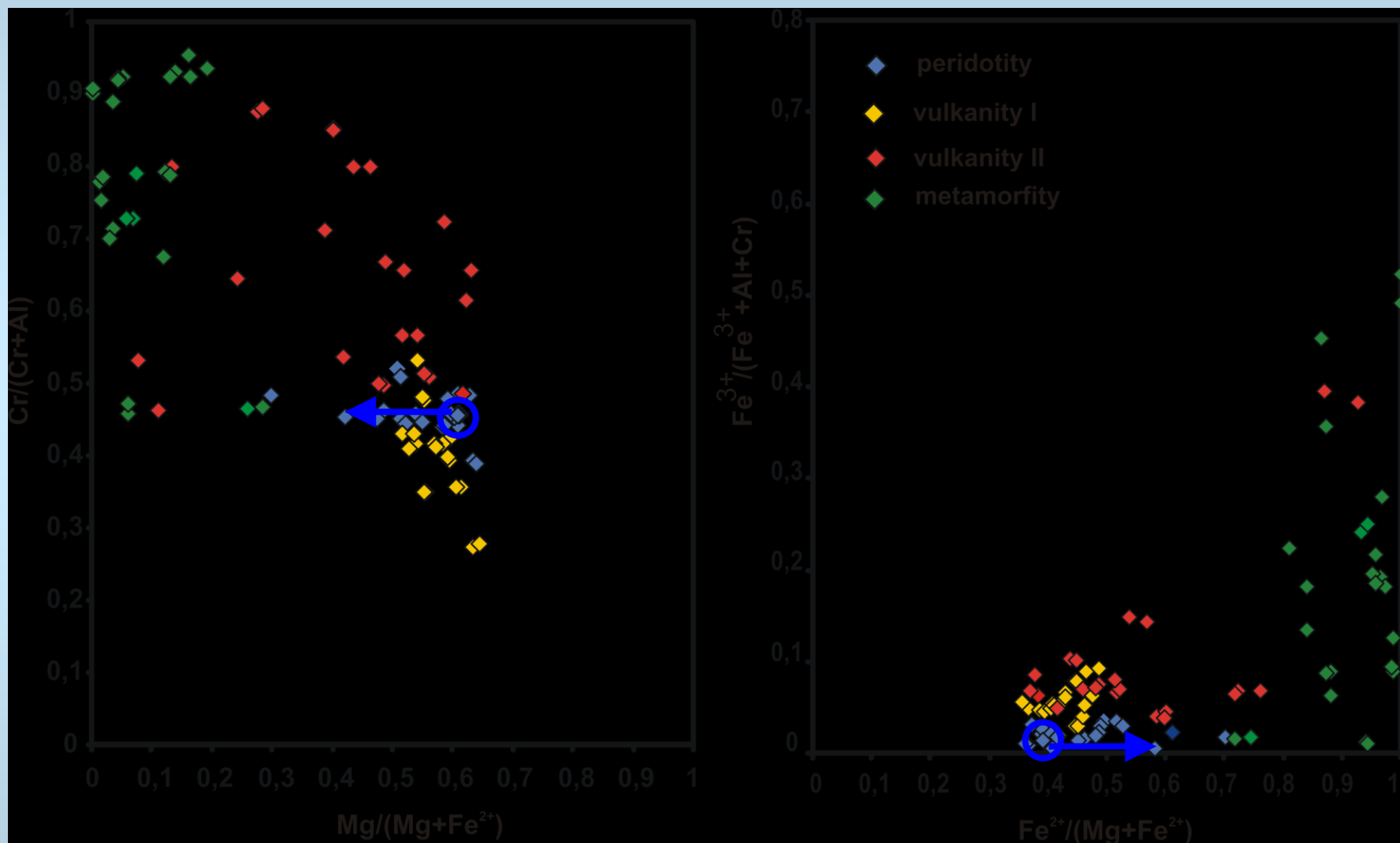
Diskriminační pole znázorněna podle Barnes a Roeder 2001

Cr-spinely z „vulkanických“ hornin



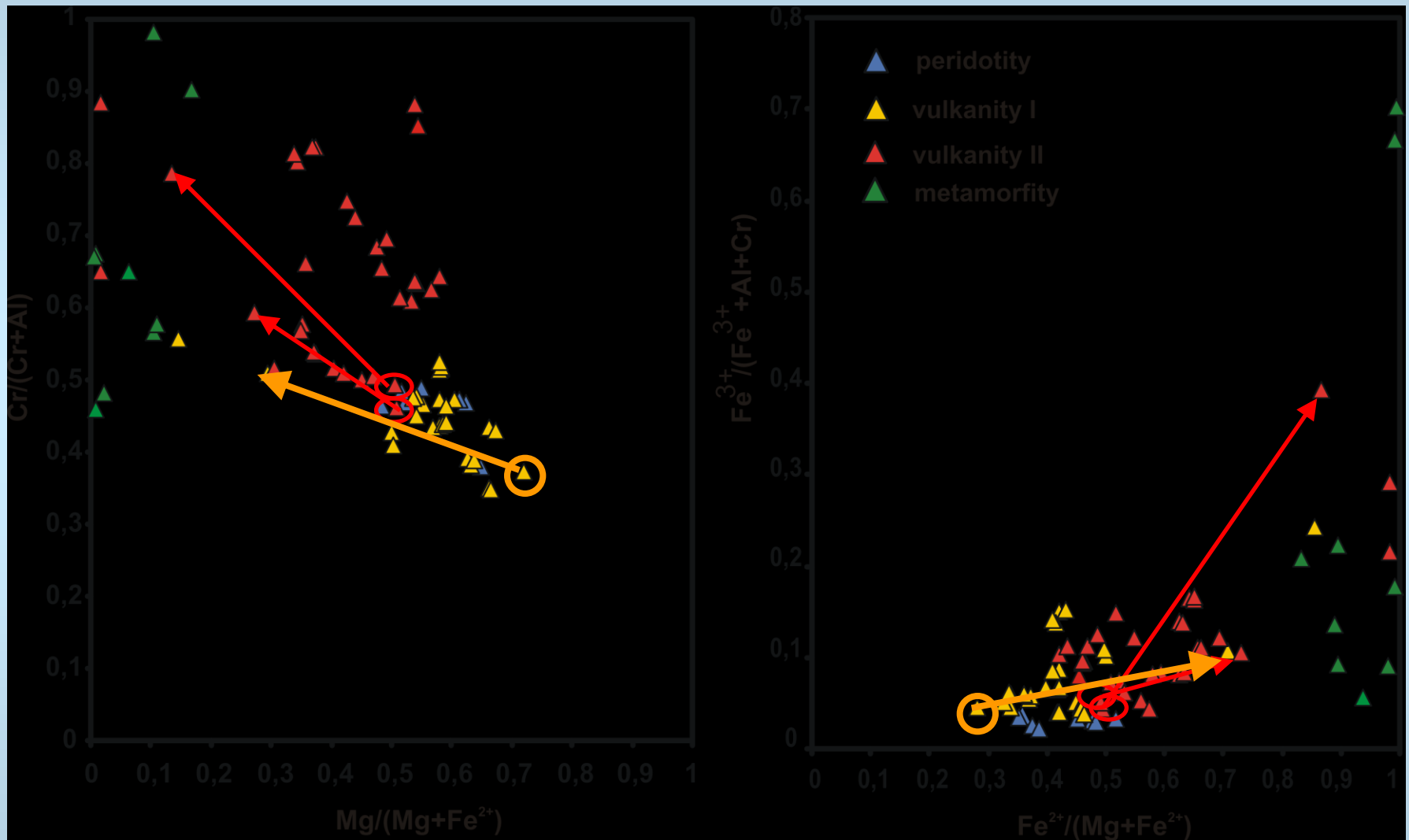
Diskriminační pole znázorněna podle Barnes a Roeder 2001, Kepezhinskas et al. 1993

Zonálnost Cr-spinelů - z peridotitů



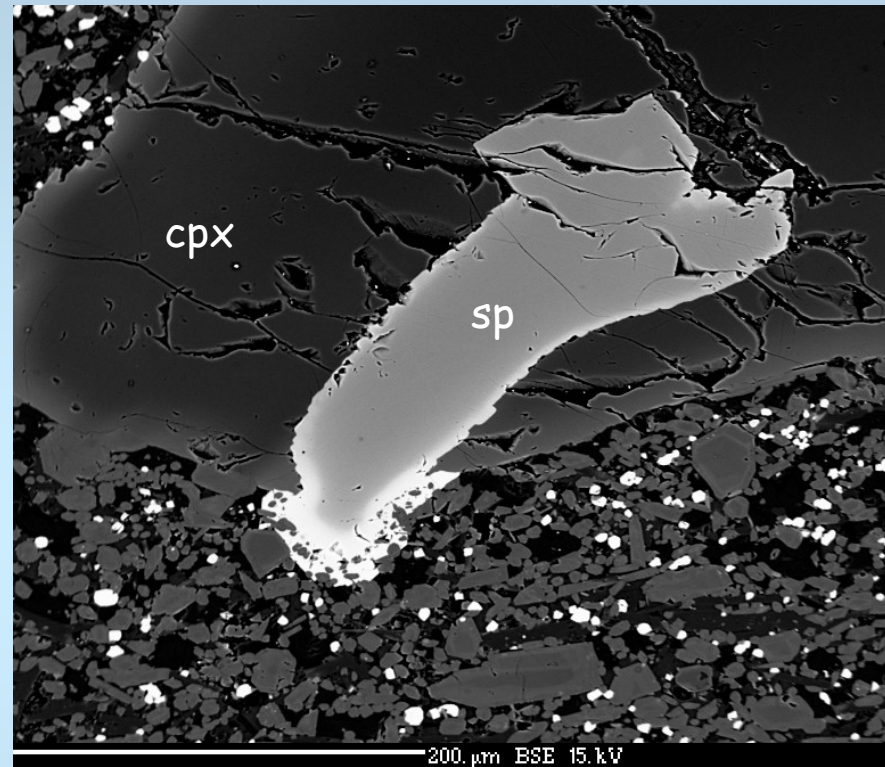
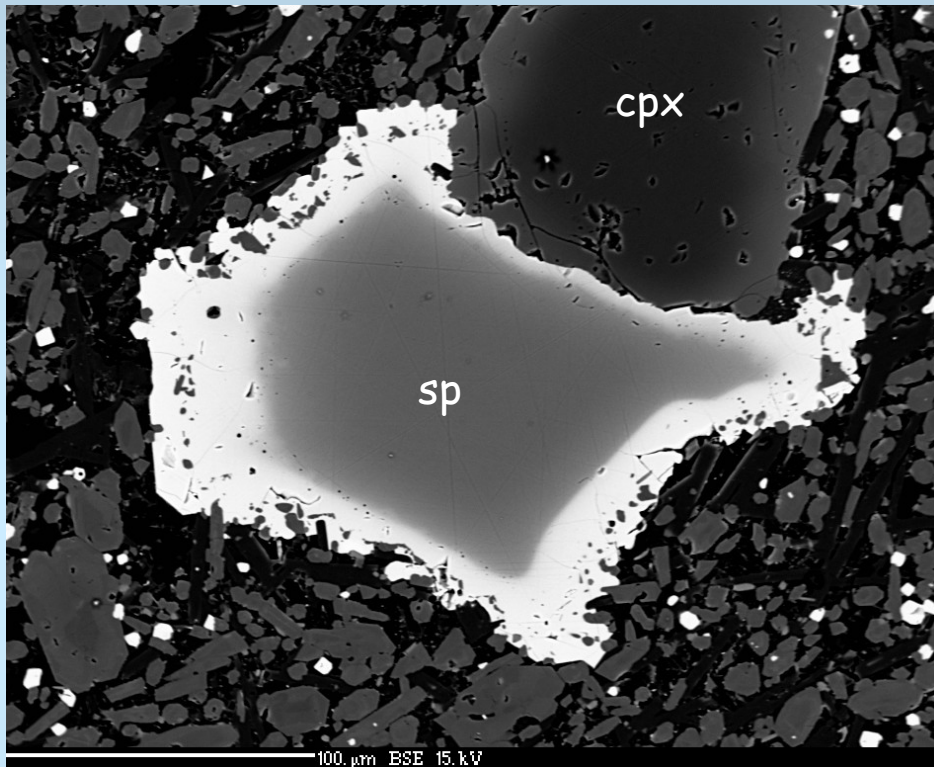
Častá zonálnost v plášťových spinelových peridotitech

Zonálnost Cr-spinelů - z vulkanitů



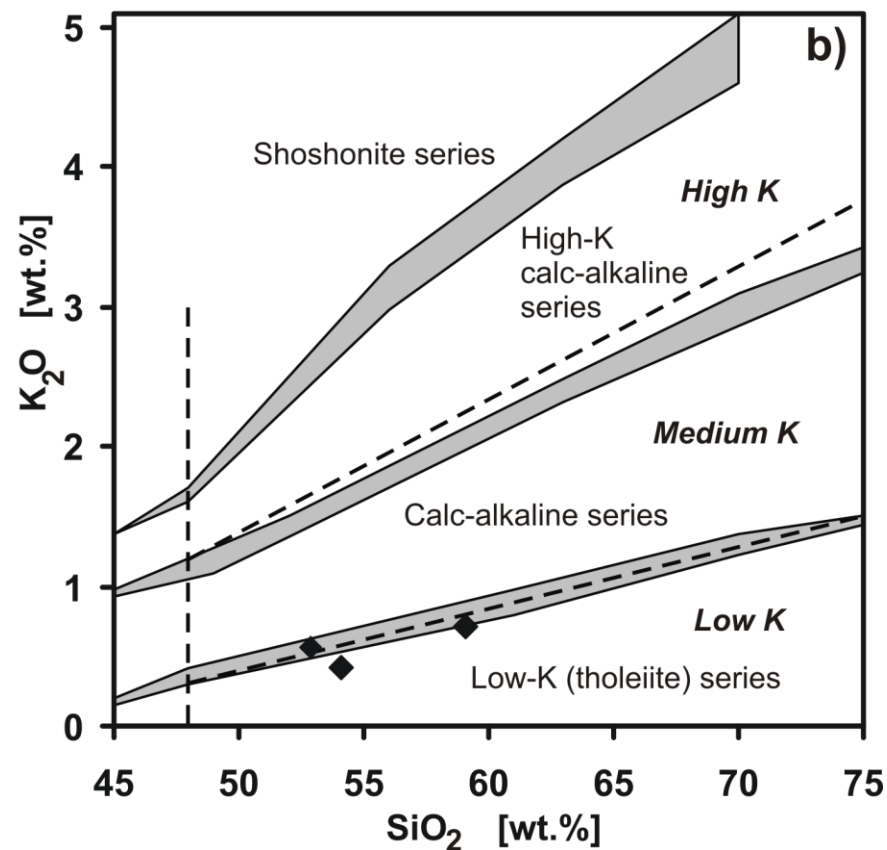
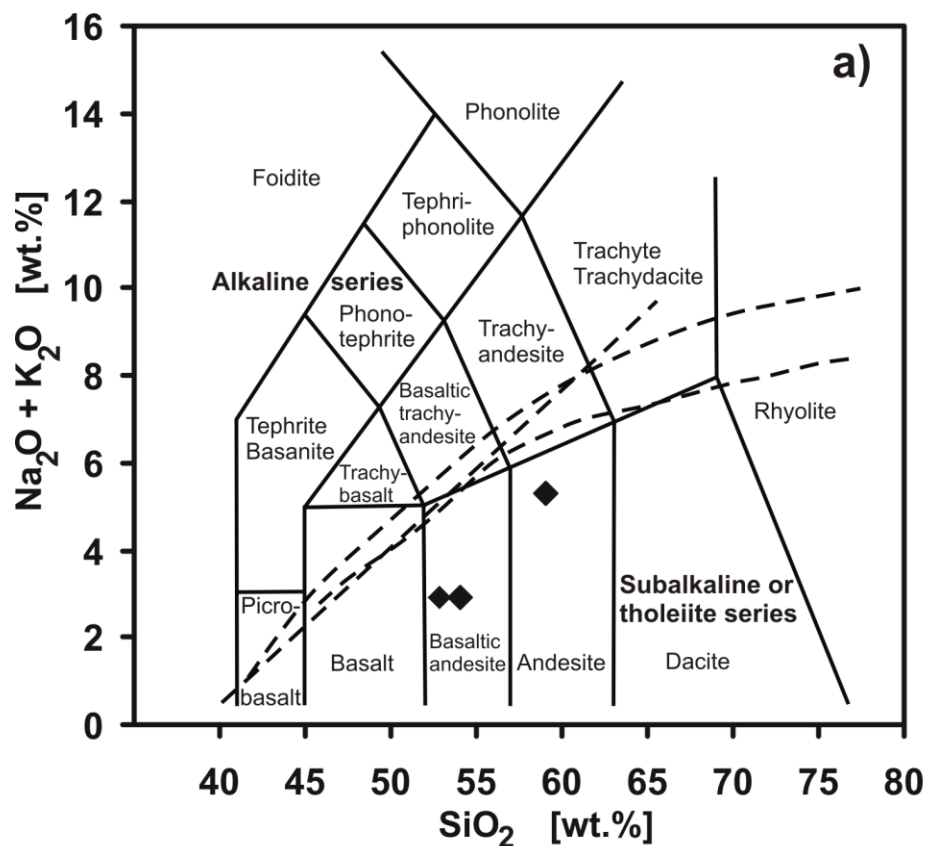
Častá zonálnost v OFB, BABB a bazaltech až andesitech vulkanických oblouků

Zonálnost Cr-spinelů - z vulkanitů



- Zonální minerál ze skupiny spinelu z bazaltu (Mrázová 2007)
 - V jádře Cr-bohatý spinel (až 30% Cr_2O_3)
 - Okraj Ti-magnetit (až 18% TiO_2)
 - V základní hmotě drobné Ti-magnetity
 - častá zonálnost v bazaltech a lamprofyrech vnitrodeskových

Inkluze taveniny v Cr-spinelech z vulkanických hornin



a) TAS diagram podle Le Maitre et al. (1989)

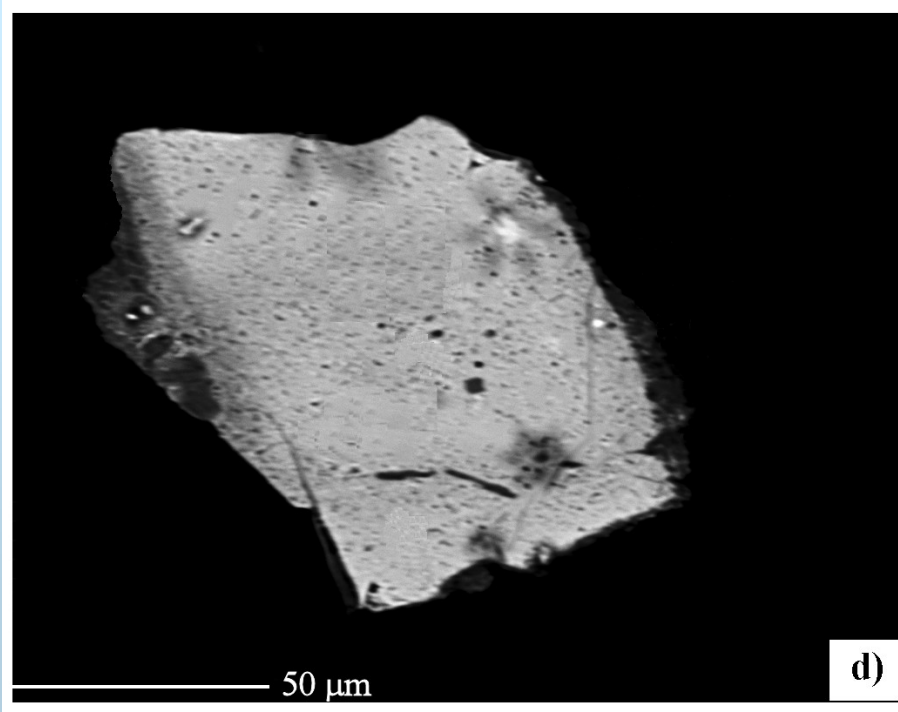
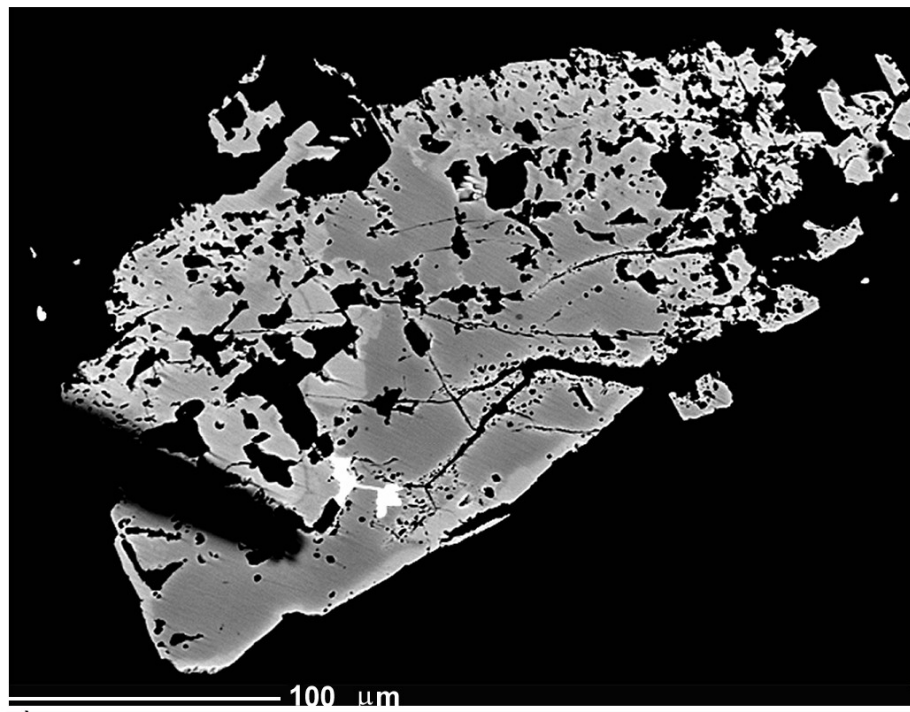
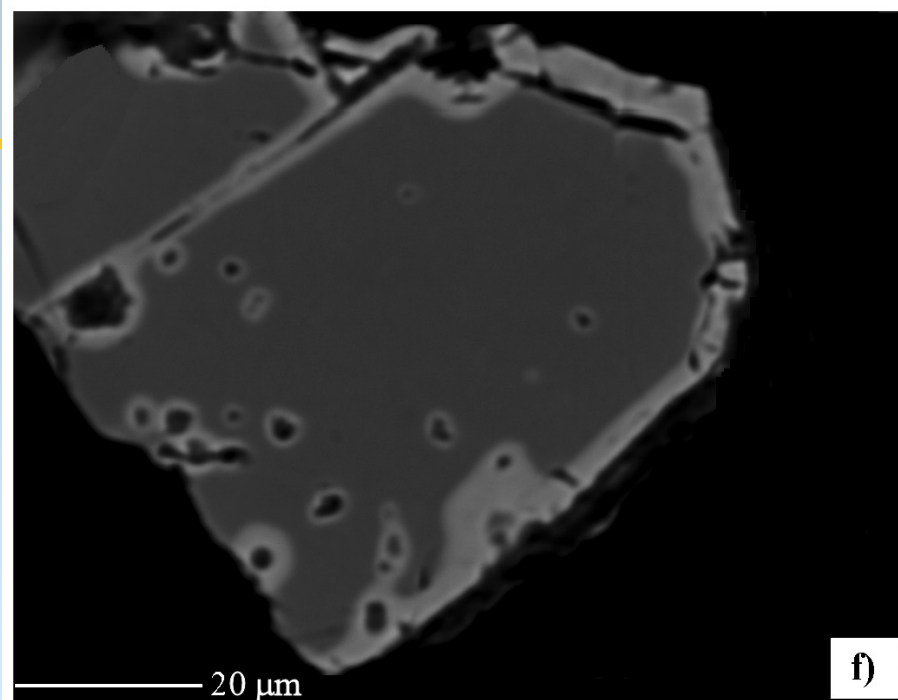
b) dělení subalkalických hornin podle Le Maitre et al. (1989) - přerušovaná čára a Rickwooda (1989) - šedá pole.

Cr-spinely z metamorfovaných hornin

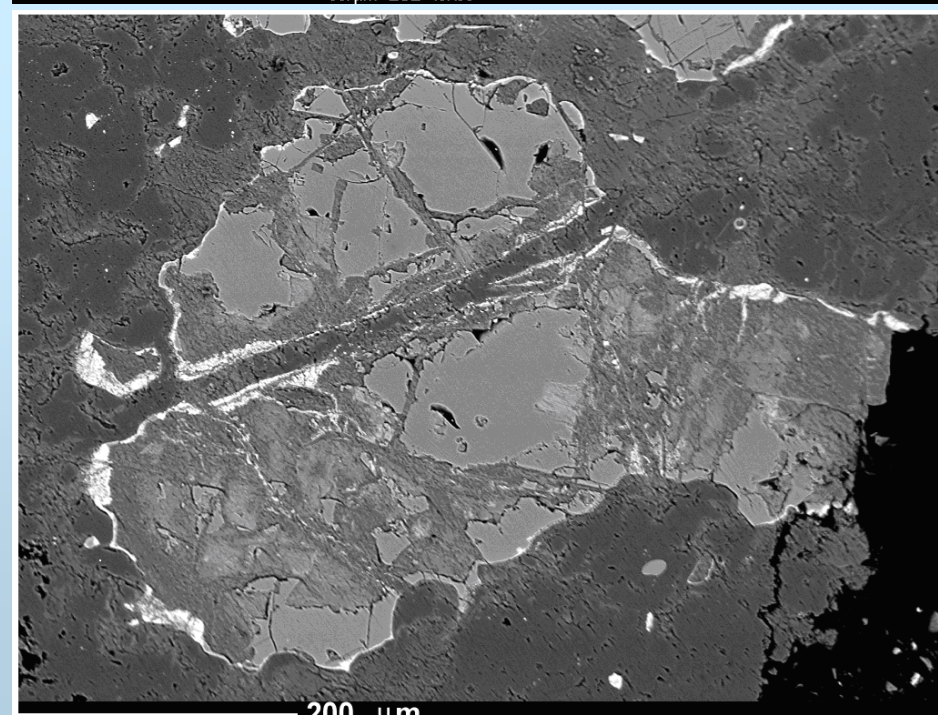
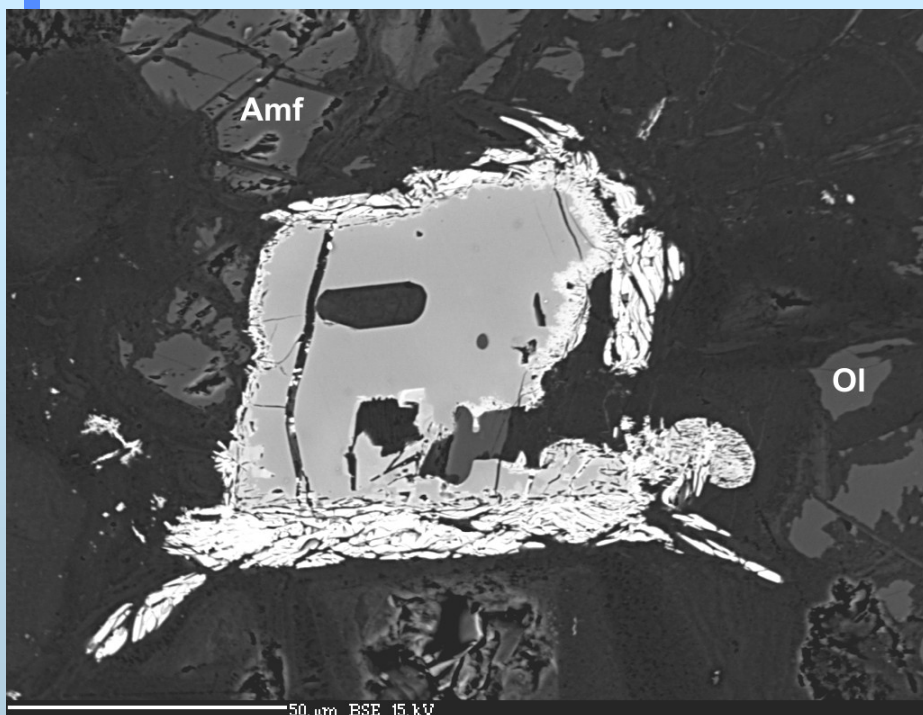
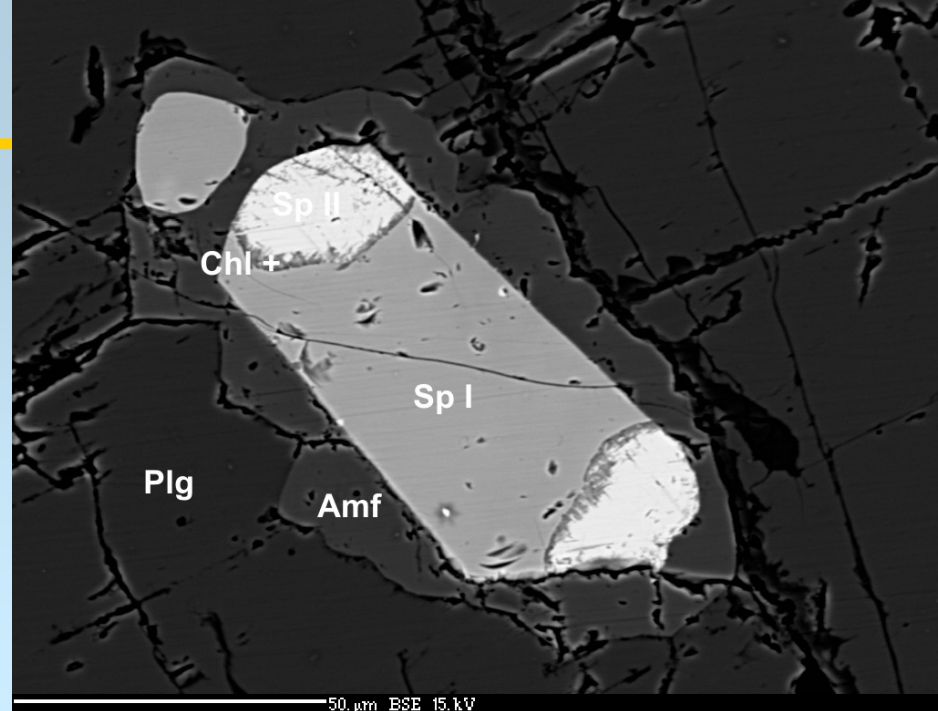
- Složení Cr-spinelů v metamorfovaných horninách není až do spodní amfibolitové facie výrazněji ovlivněno metamorfózou.
- Cr-spinely s vysokým Cr# jsou stabilnější a jejich složení zůstává nezměněno do výše metamorfních podmínek ve srovnání se spinely s nízkým Cr#.
- Metamorfózu Al-bohatých spinelů ($Cr\# < 0,5$) v peridotitech popsali reakcí spinel + serpentín + brucit = ferrichromit + chlorit.
- Při metamorfóze primárních spinelů s vysokým Cr# ($> 0,5$) nedochází ke vzniku chloritu, a složení spinelu se posouvá do pole ferrichromitu až Cr-magnetitu
- Ve výše metamorfovaných horninách je jejich složení ovlivňováno výměnou Fe-Mg a Cr-Al s okolními silikáty, a substitucí Fe^{3+} za Al, v důsledku čehož jsou tyto Cr-spinely podstatně bohatší železem a chudší Al než jejich „magmatictí rodiče“
- Cr-spinely z hornin metamorfovaných v amfibolitové a vyšší facii bývají často obohaceny Zn (často až 7 hm.% ZnO) či Mn (někdy až 3 hm.% MnO), někdy i Ti
- V těchto sekundárních Cr-spinelích (ferrichromitech až magnetitech) jsou často zvýšené obsahy SiO_2 či CaO.

Pinsent a Hirst (1977); Oberhanslí et al. (1999); Barnes (2000); Barnes a Roeder (2001)

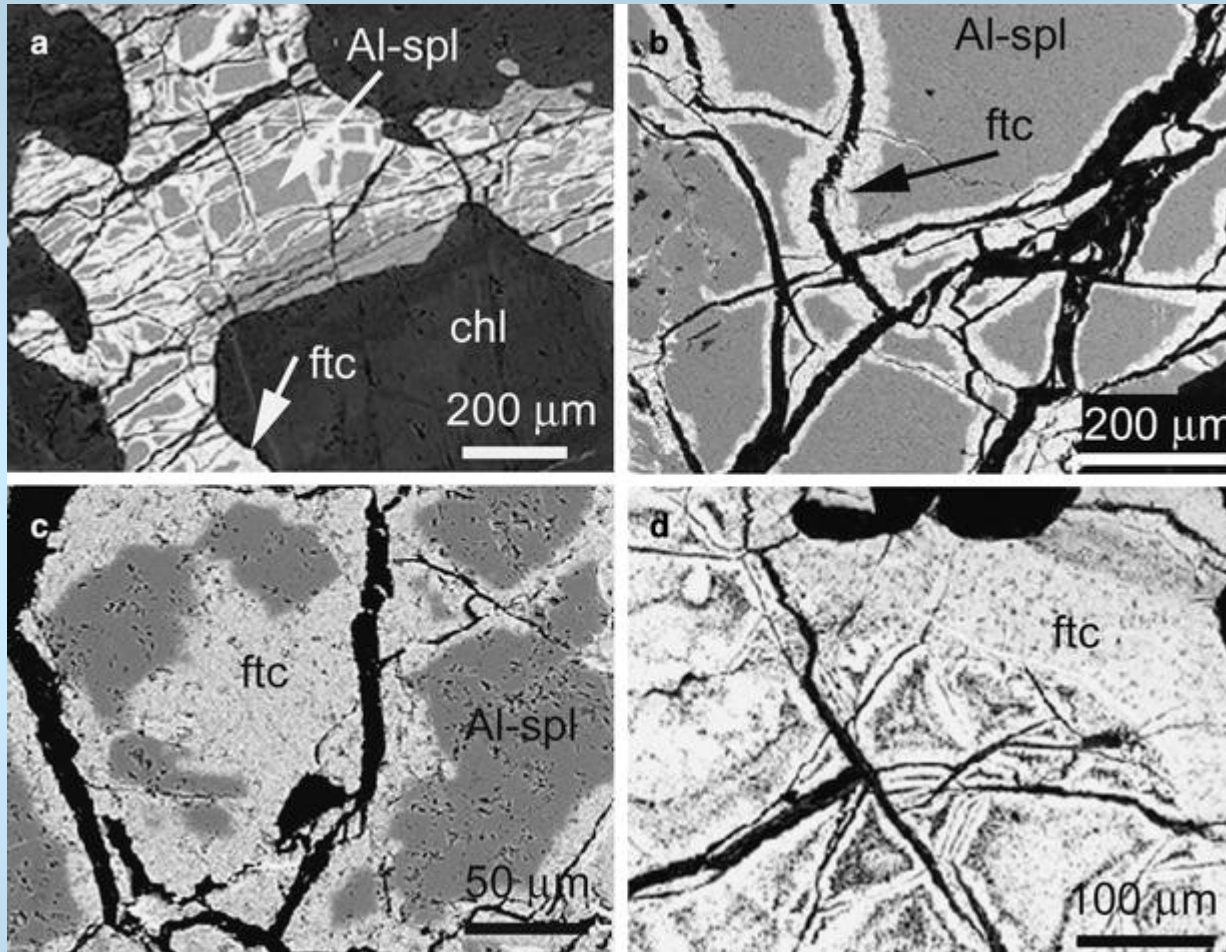
Cr-spinely v BSE obraze
původ z metamorfovaných hornin



Cr-spinely v BSE obraze
původ z metamorfovaných hornin

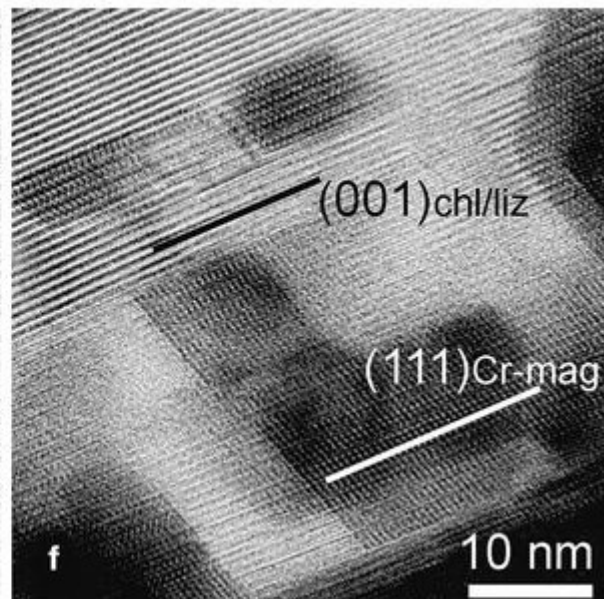
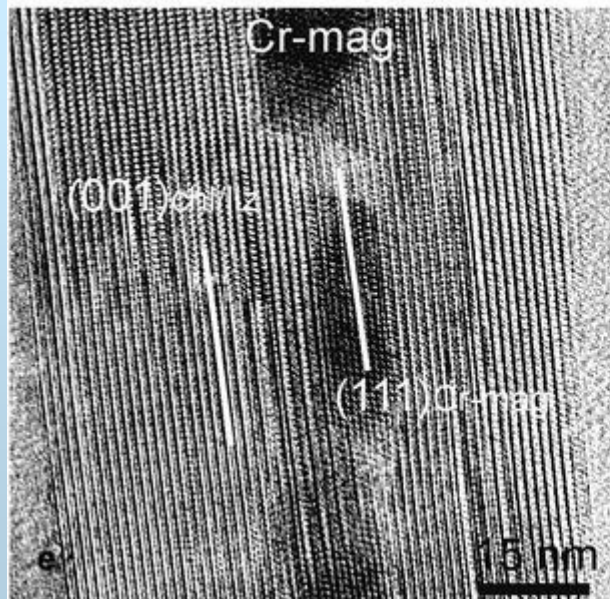
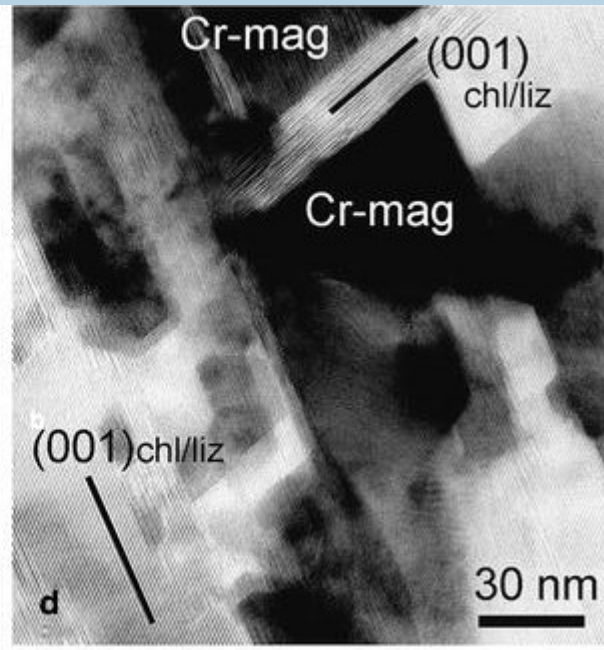
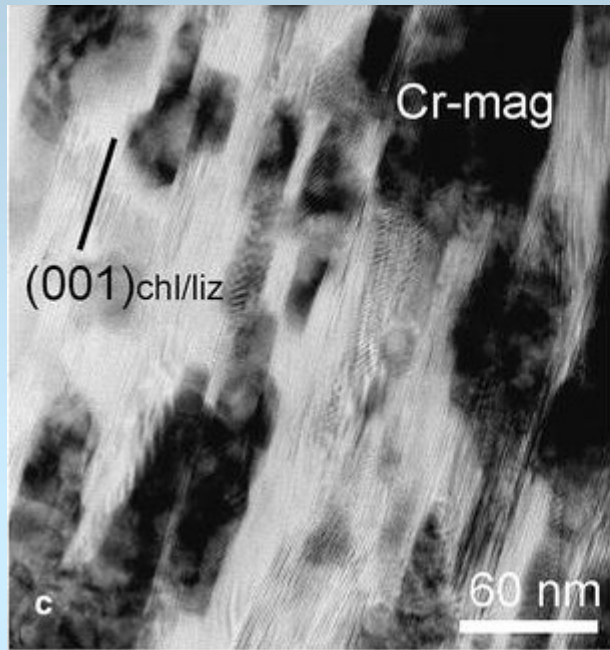


Cr-spinely z „metamorfovaných“ hornin



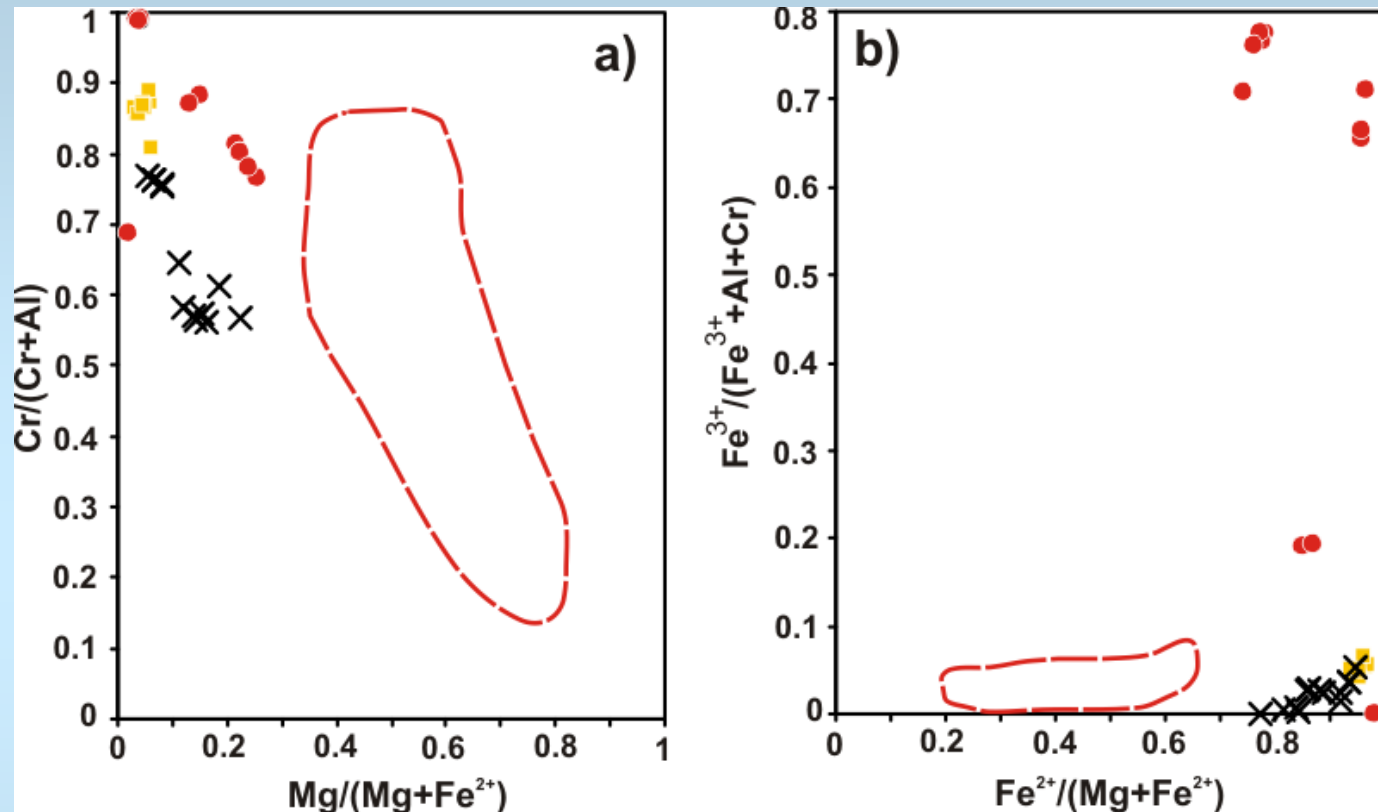
Cr-spinely (ferrichromit) houbovitého vzhledu se zvýšenými obsahy SiO_2 a CaO v okolí Cr-spinelu ze serpentinitů pozorovali Mellini et al. (2005).

Cr-spinely z „metamorfovaných“ hornin



Na základě studia těchto Cr-spinelů (sekundárních ferrichromitů) pomocí TEM Mellini et al. (2005) prokázali, že se jedná se o Cr-magnetit se sekvencemi náhodně uspořádaného, avšak krystalograficky orientovaného chloritu a lizarditu o velikosti řádově v desítkách nm, čili pod hranicí rozlišení EMP.

Cr-spinely východní části Českého masivu



➤ a,b) moldanubikum

červené pole - primární Cr-spinely spinelových a granátických peridotitů;

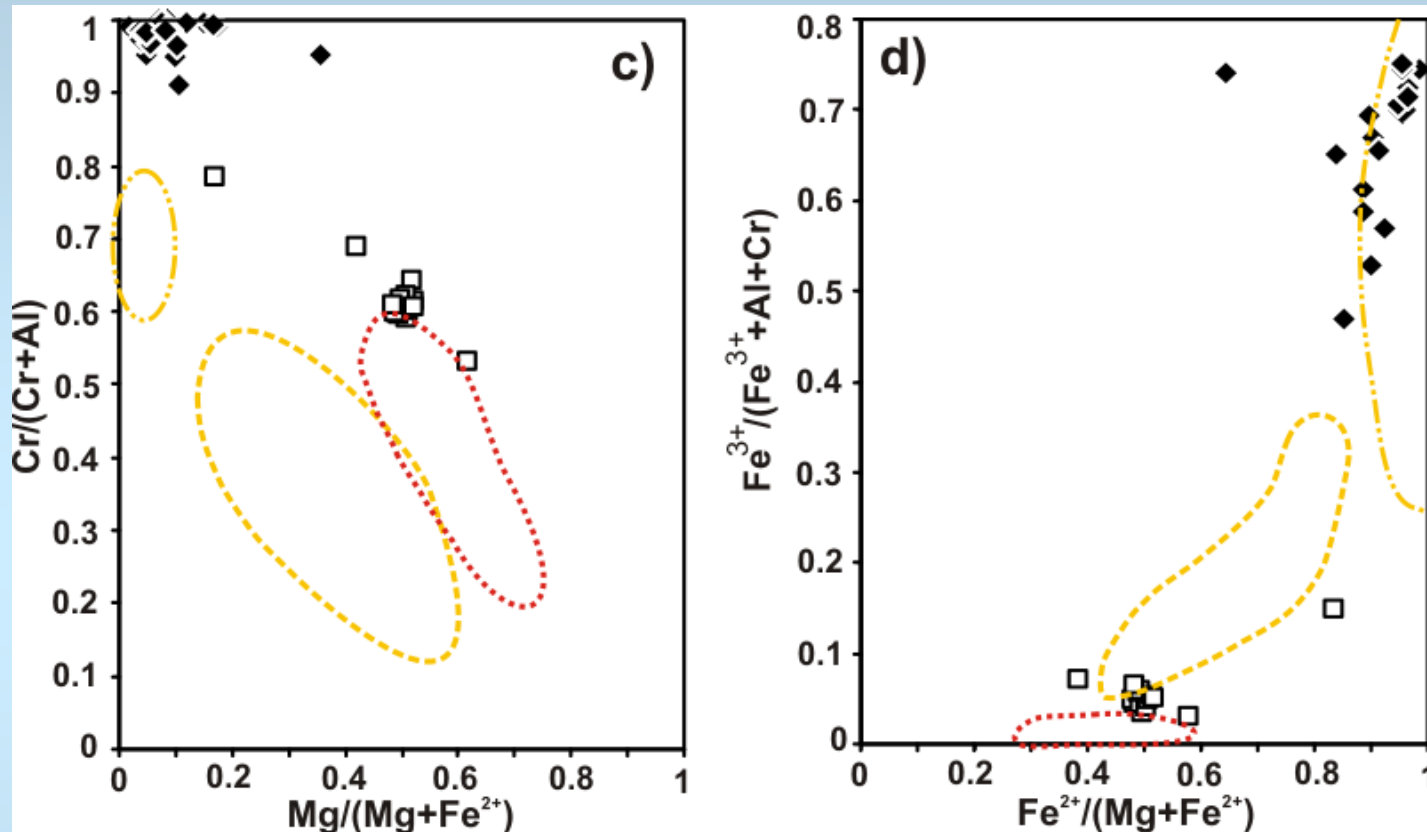
plná červená kolečka - sekundární Cr-spinely spinelových peridotitů;

křížky - tremolitovec (metamorfovaný kumulát ultrabazik);

žluté čtverečky - durbachity

- V grafech a-d jsou použity analýzy z prací Čopjaková et al. (2005b), Međaris et al. (2005), Sulovský (2001), Van der Veen a Maaskant (1995) a nepublikovaná data Stědré a Čopjakové

Cr-spinely východní části Českého masivu



- c,d) letovicko-rehberský ofiolit a ranský masiv;
letovicko-rehberský ofiolit - bílé čtverečky - primární Cr-spinely;
černé kosočtverce - sekundární Cr-spinely;
ranský masiv - červená tečkovaná čára - plášťové granátické a spinelové peridotity;
žlutá čárkovaná čára - gabra a spinelové peridotity typu Alaskan;
žlutá čerchovaná čára - sekundární Cr-spinely z gaber typu Alaskan;
- V grafech a-d jsou použity analýzy z prací Čopjaková et al. (2005b), Medaris et al. (2005), Sulovský (2001), Van der Veen a Maaskant (1995) a nepublikovaná data Štědré a Čopjakové

Fe-spinely

➤ **Magnetit** - nejběžnější spinelid

Nachází se v celé řadě magmatických a metamorfovaných hornin - bazické až intermediální magmatity (vulkanické i plutonické); skarny; amfibolity; metamorfovaná ultrabazika; metapelity; i jako autigenní (nízkoteplotní) v sedimentech

➤ **Magnesioferrit** - jako koncový člen vzácný. Obvykle v pevném roztoku s magnetitem (obvykle do několika molárních %)

➤ **Franklinit** - vzácnější;

- vyskytuje na Zn ložiscích Franklin a Sterling Hill (USA) - metasomatický, vzniklý reakcí hydrotermálních fluid s okolními horninami
- metamorfované bazické a ultrabazické horniny obsahující Cr- bohaté spinely minimálně ve spodní amfibolitové facii - obvyklá minoritní komponenta ve spinelidech (

➤ **Jaccobsit** - metasomatická ložiska manganu

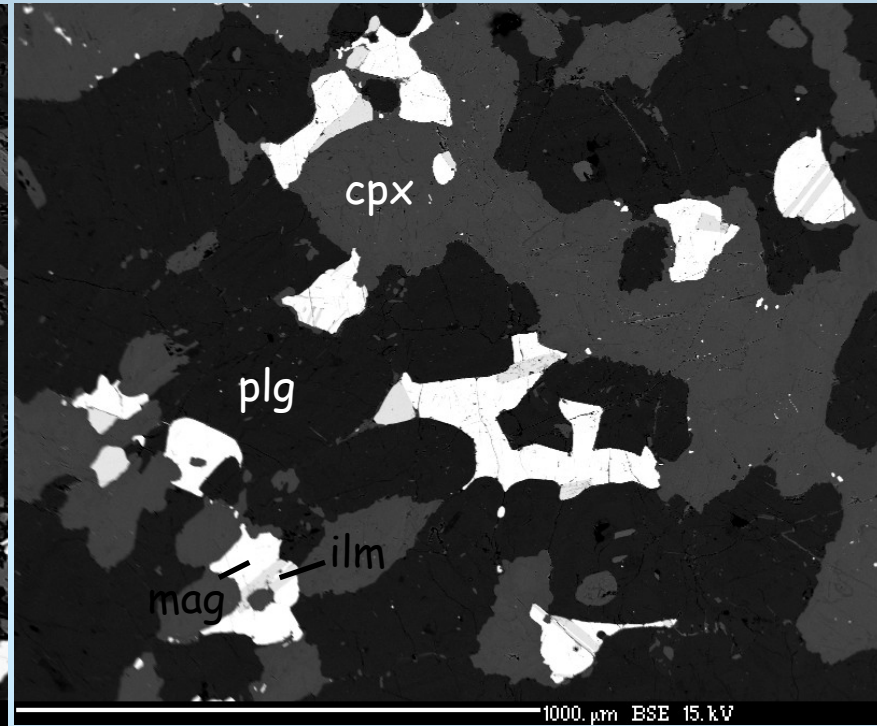
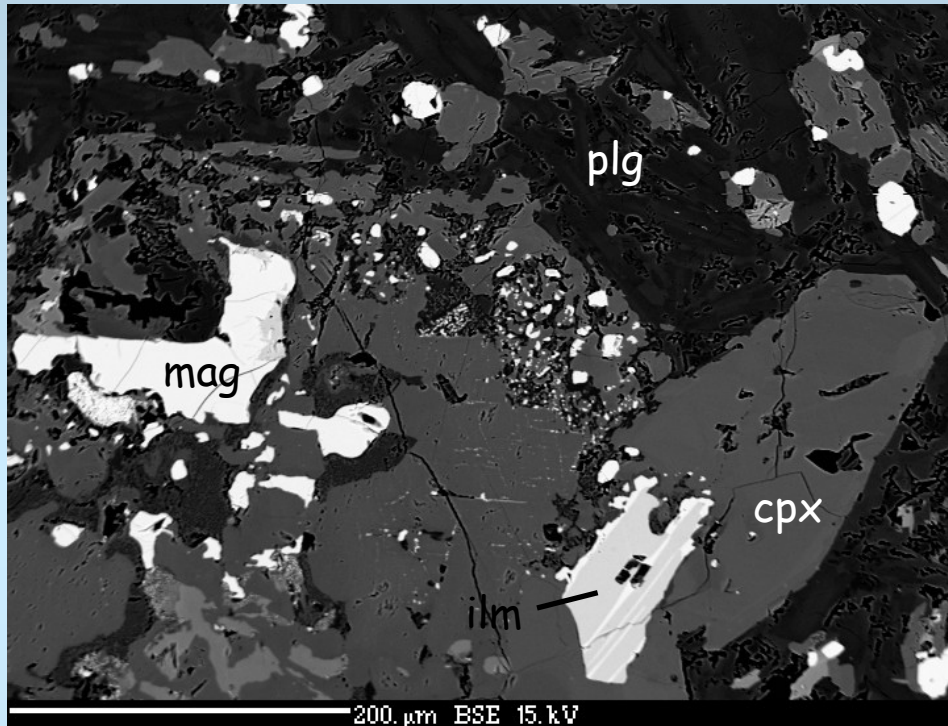
➤ **Trevorit** - vzácný; známý z mastkových fylitů v Jižní Africe.

Fe-spinely

Magnetit

- S rostoucí teplotou roste v magnetitu podíl Usp komponenty. Nárůst fO_2 zvyšuje podíl trojmocného železa v systému a tudíž nárůst magnetitové komponenty.
- Za vysokých teplot je dobrá mísitelnost magnetitové a ulvospinelové komponenty (ve vulkanitech obvykle vysoký podíl Ti v magnetitech)
- S poklesem teploty může docházet k jejich odmísení a vzniku zrn tvořených střídajícími se lamelami magnetitu a ilmenitu (často pozorované v magmatitech - gabrech, ale i v metamorfitech - amfibolitech)
- Horniny, které obsahují jak pevný roztok Mt-Usp(magnetit) a Ilm-Hmt(ilmenit), je složení těchto dvou fází jednoznačně určeno teplotou a fO_2 v době, kdy se v hornině ustavila rovnováha mezi těmito minerály
- Lze tyto páry využít jako geotermometr

Magnetit



- Gabra ranského masivu (Mrázová 2007)
v BSE obraze světlé fáze - odmísený ilmenit od magnetitu: světlejší partie - magnetit; tmavší partie - ilmenit

Vanad a nikel ve spinelidech

- V - Nemá vlastní koncový člen
- Vanad vstupuje zejména do Cr-spinelů (bazických a ultrabazických hornin) a Fe-spinelů (magnetitu - bazických hlubinných i vulkanických hornin)
- V Al-spinelech obvykle kolem meze detekce EMP
 - V Cr-bohatých spinelech peridotitů - obvykle do 0,3 hm.% V_2O_3)
 - V Cr-bohatých spinelech vulkanických oblouků do 0,8 hm.% V_2O_3
 - V magnetitech a Ti-magnetitech bazaltů až andesitů obvykle do 0,6 hm.% V_2O_3
 - Vanadové ložisko Abitibi - vrstevnatá gabbrová intruze, hlavní oxidy jsou ilmenit a magnetit; magnetit je vanadem bohatý (cca do 1,5 hm.% V_2O_3)
- Ni (nichromit - $NiCr_2O_4$, trevorit $NiFe^{3+}_2O_4$) obvykle vstupuje částečně do Cr-bohatých spinelů z plášťových ultrabazik - obvykle do 0,3 hm.% NiO; a do sekundárních ferrichromitů vzniklých při metamorfóze primárních Cr-spinelů peridotitů - často až přes 1 hm.% NiO