

Geochemie endogenních procesů – 9. část

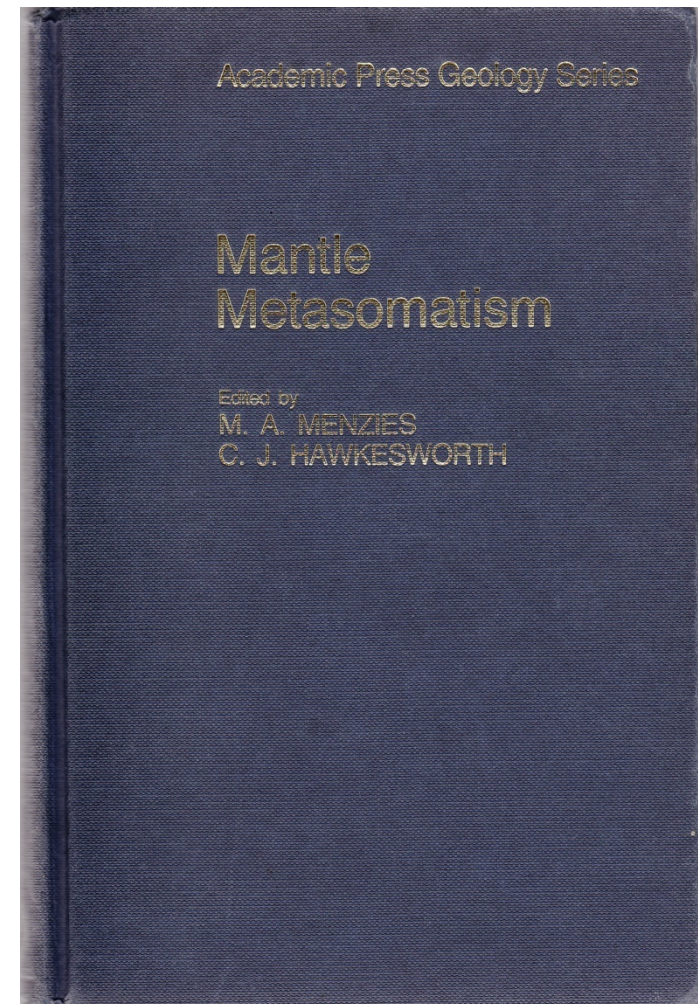
Geochemie pláště II

Metasomatóza

- proces obohacení pláště
- fluida a taveniny
- různé typy metasomatózy v závislosti na geotektonickém prostředí → různý výsledný chemismus
- silně ovlivňuje chemismus výchozích magmat (např. karbonatity, nephelinity)

Typy metasomatózy

- metasomatóza taveninami basaltového složení
- metasomatóza fluidy (subdukce)
- metasomatóza karbonatitickými taveninami



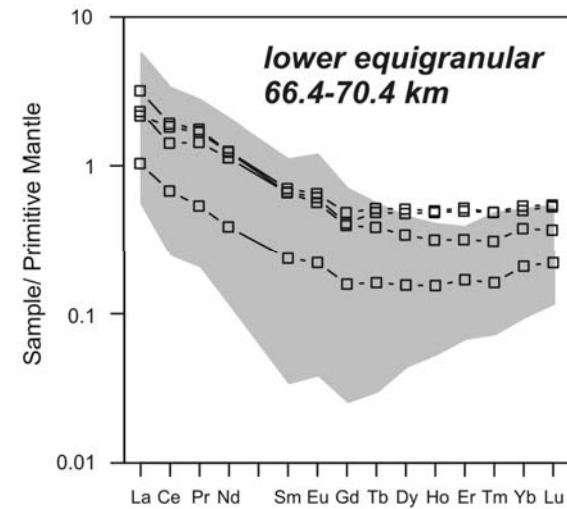
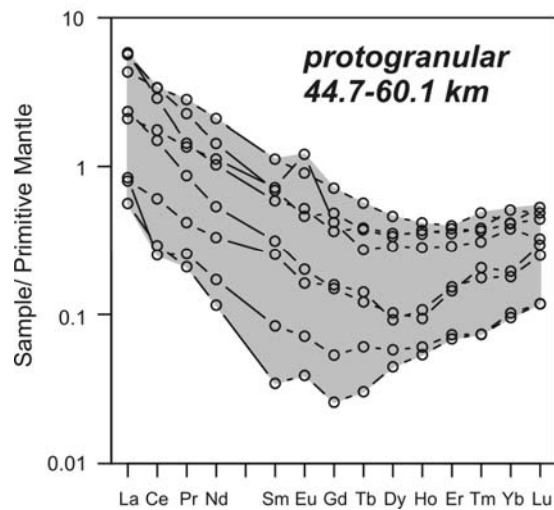
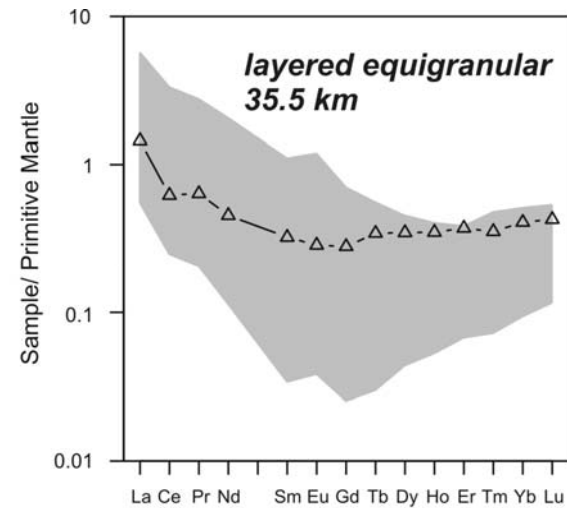
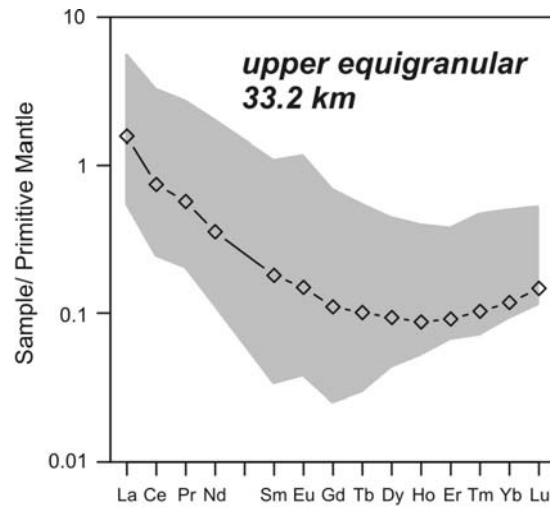
Metasomatóza basaltovými taveninami

- velmi častá zejména v subkontinentální litosféře
- zdroj basaltových tavenin
 - plášťový chochol (plume)
 - produkty nízkého F pláště
- velké nabohacení zejména LREE a LILE
- modální vs. „kryptická“ metasomatóza
- transport většinou „žilami“

Modální vs. „kryptická“ metasomatóza

- modální
 - krystalizace nových minerálů (amfibol, flogopit, apatit, sekundární cpx aj.)
 - vysoký tavenina/pd
 - často kompletní rekrystalizace pd
- kryptická
 - žádné změny v mineralogii
 - nízký tavenina/pd
 - „prosakování“ tavenin spojené s chromatografickou frakcionací

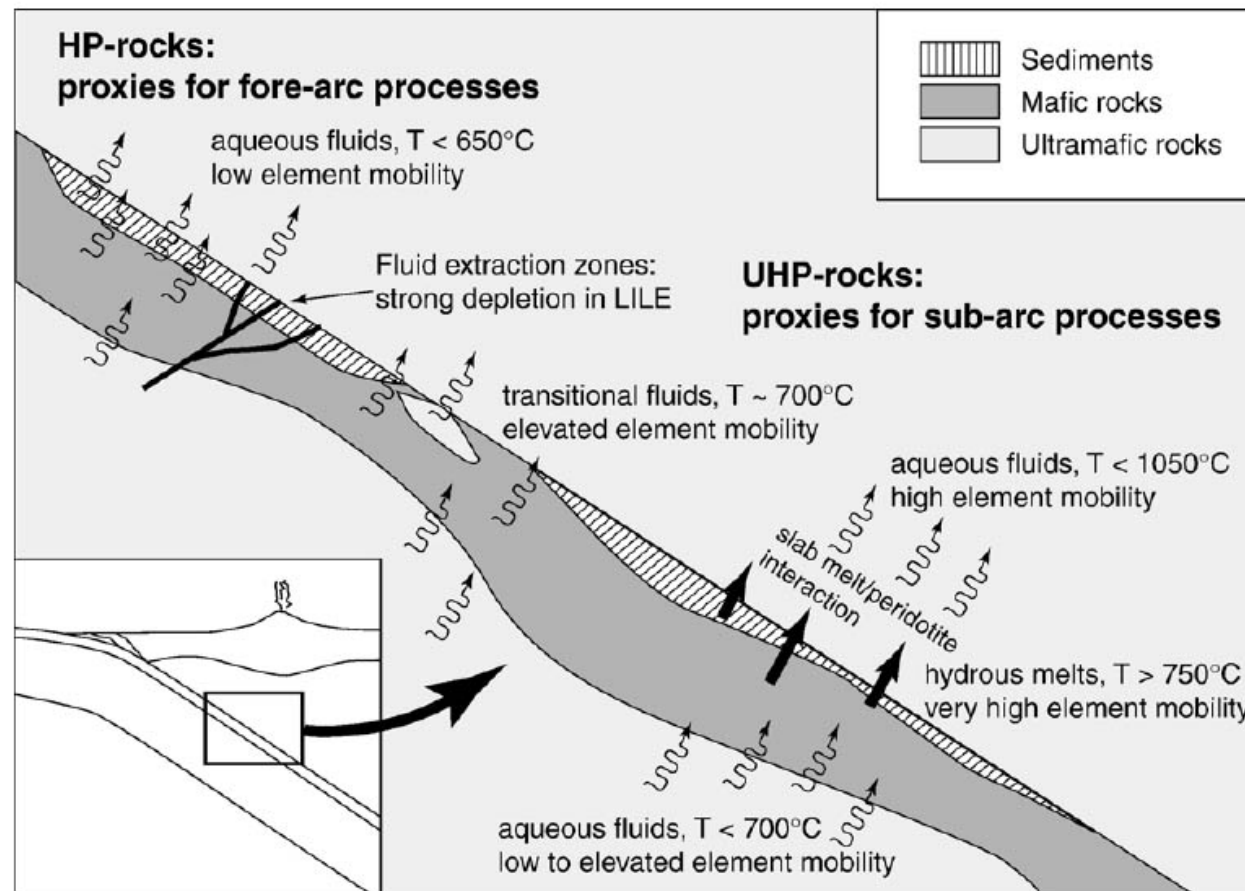
Kryptická metasomatóza



Metasomatóza fluidy

- vázaná na subdukční oblasti
- častá modální metasomatóza (amfibol nebo flogopit)
- silné nabohacení LILE (zejména Sr a Pb)
- negativní HFSE „anomálie“ v pd → ve vulkanitech ostrovních oblouků
- významné změny izotopů Sr-Nd-Pb-Os

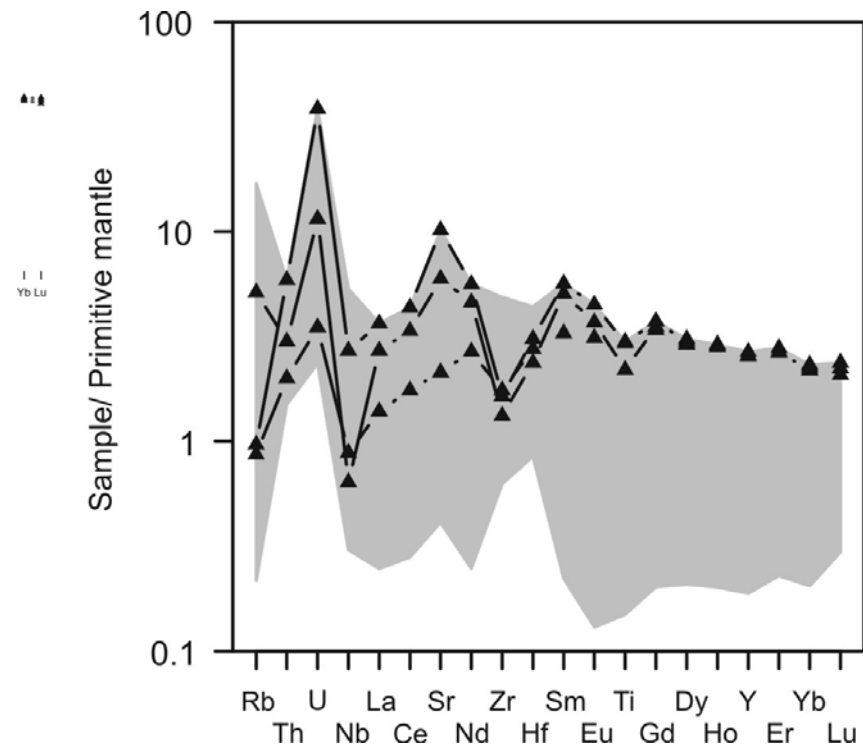
Metasomatóza fluidy



Hermann et al., 2006

Metasomatóza fluidy – HFSE anomálie

- eklogit obsahuje velmi často Ti-fáze (ilmenit, rutil)
- parciální tavení → HFSE kompatibilní → negativní HFSE v tavenině
- nízká rozpustnost HFSE ve fluidech
- stejné anomálie ve vulkanitech ostrovních oblouků



Metasomatóza fluidy – vznik harzburgitů/dunitů

- parciální tavení eklogitu → SiO₂ bohaté taveniny
- interakce tavenin s pd → při vysokém tavenina/pd rozpuštění olivínu a často i cpx → krystalizace opx
- při finálním stádiu se může oddělit CO₂-bohatá tavenina
- podobné schéma pro ofiolity

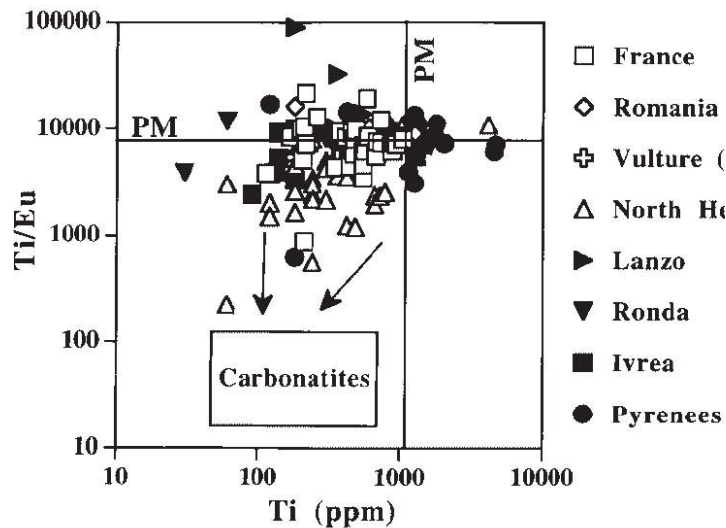
Metasomatóza karbonatitickými taveninami

- často předmětem diskuse
- většinou wehrlity +/- apatit nebo primární?
karbonáty
- reakce opx + karbonatitová tavenina
→ ol + cpx
- obrovsky nízká viskozita tavenin → velký
plošný rozsah metasomatózy
- pouze xenolity!

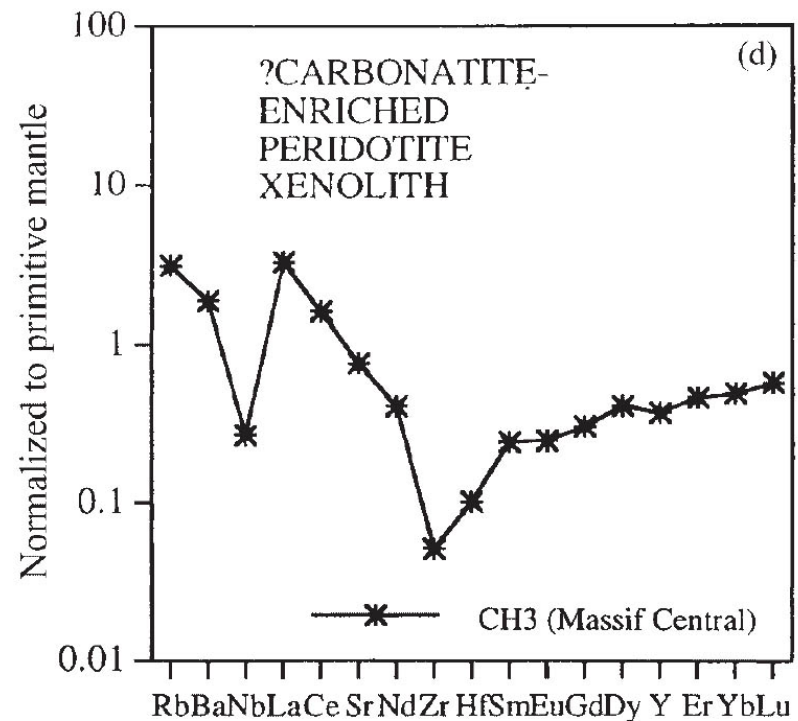
Metasomatóza karbonatitickými taveninami

- vysoké $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$
- frakcionace LILE a P_2O_5 od HFSE při reakci karbonátové taveniny a amph-pd → karbonátová tavenina extrémně bohatá LREE + LILE, ale chudá na HFSE

Metasomatóza karbonatitickými taveninami – „důkazy“



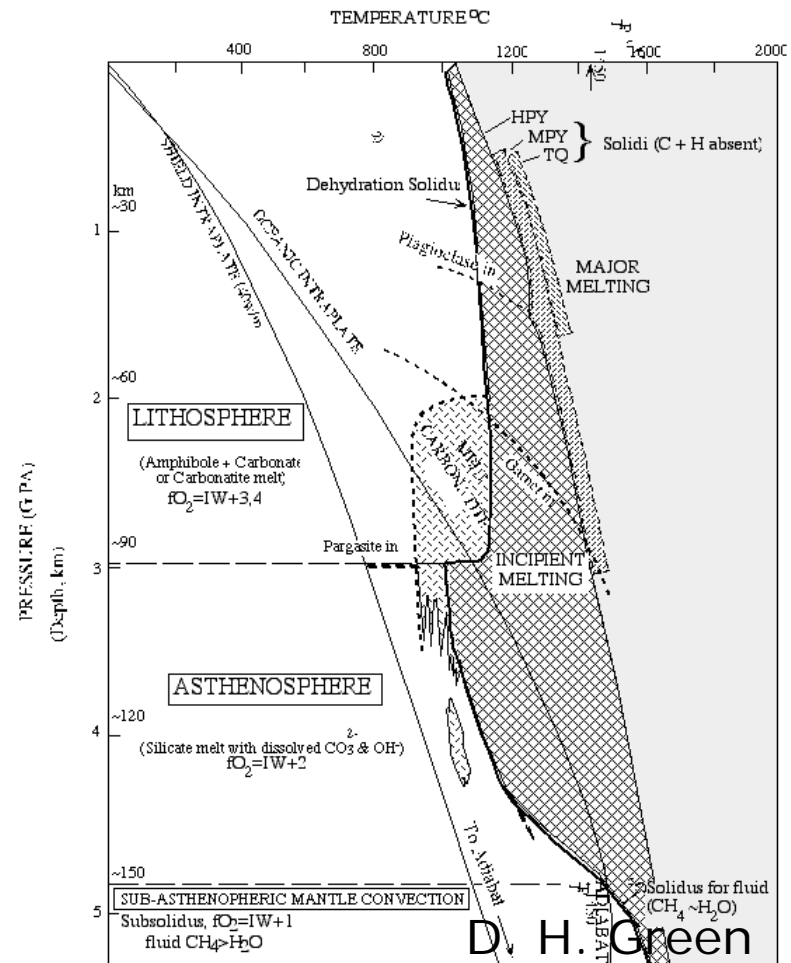
Downes, 2001



Downes, 2001

Karbonatitová tavenina

- SiO_2 -chudé taveniny bohaté $\text{CO}_2 \rightarrow$ krystalizace amfibolu \rightarrow karbonatitové magma
- potvrzena existence vzniku karbonatitových magmat v hloubce 60-90 km



Izotopová geochemie svrchního pláště

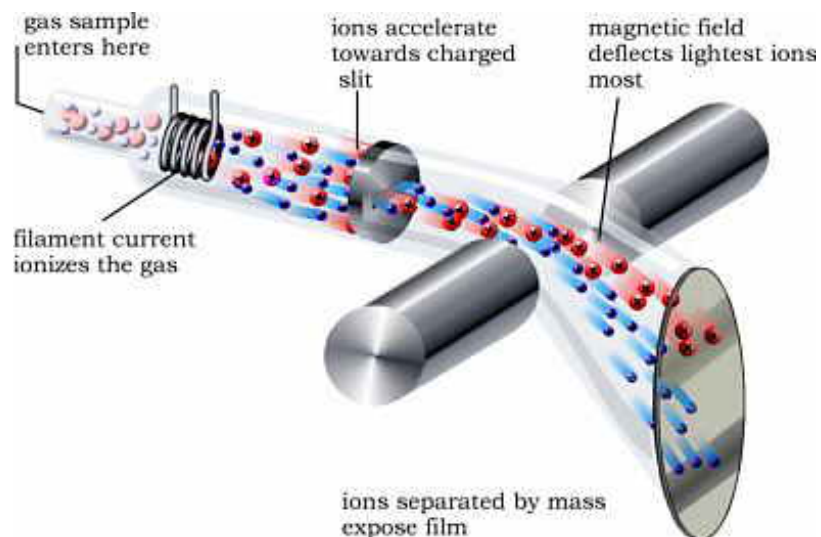
Radiogenní izotopy

- Rb-Sr (WR, cpx, amf, flog)
 - charakter a vývoj hornin
- Sm-Nd (WR, cpx, grt)
 - charakter a vývoj hornin
 - datování
- U-Pb (WR, cpx)
 - charakter a vývoj hornin
 - datování
- Lu-Hf (WR, cpx, grt, amf, flog)
- Re-Os (WR)

Izotopová geochemie

Hmotností spektrometrie – TIMS

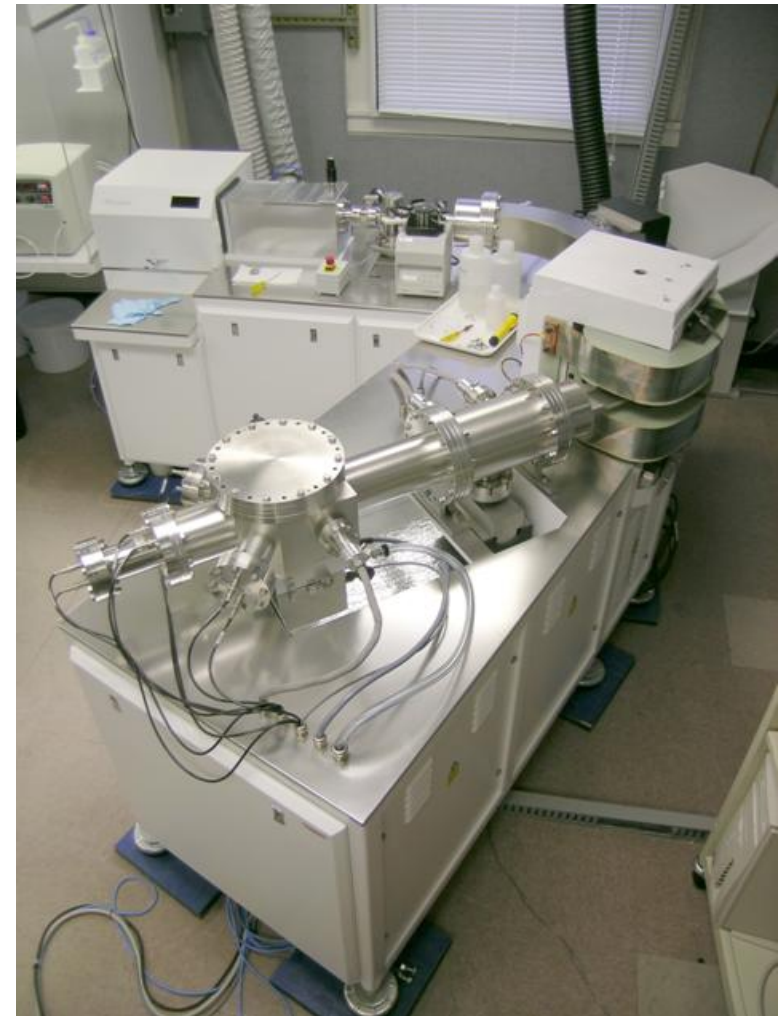
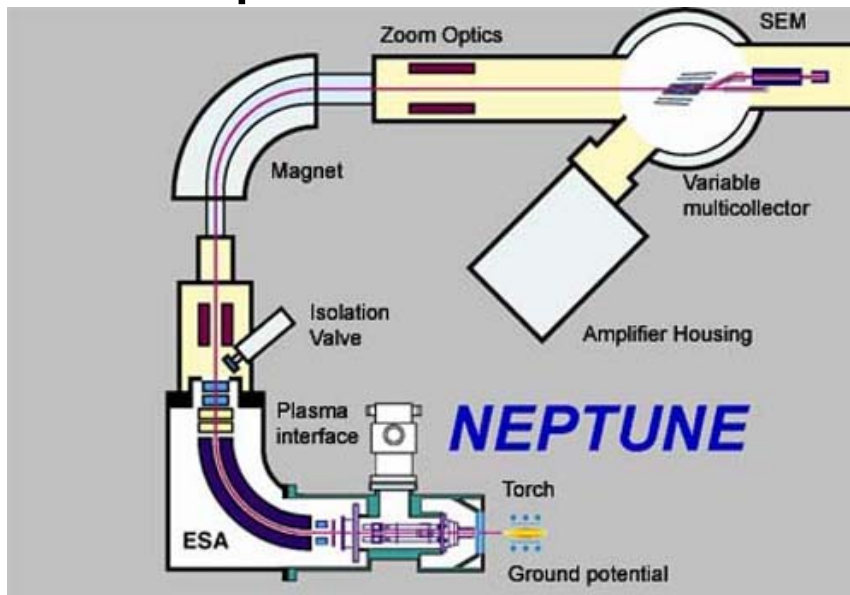
- ionizace vzorku zahřátím Re(Pt) vlákna
- magnet na separaci iontů
- jeden nebo více detektorů



Izotopová geochemie

Hmotností spektrometrie – ICP-MS

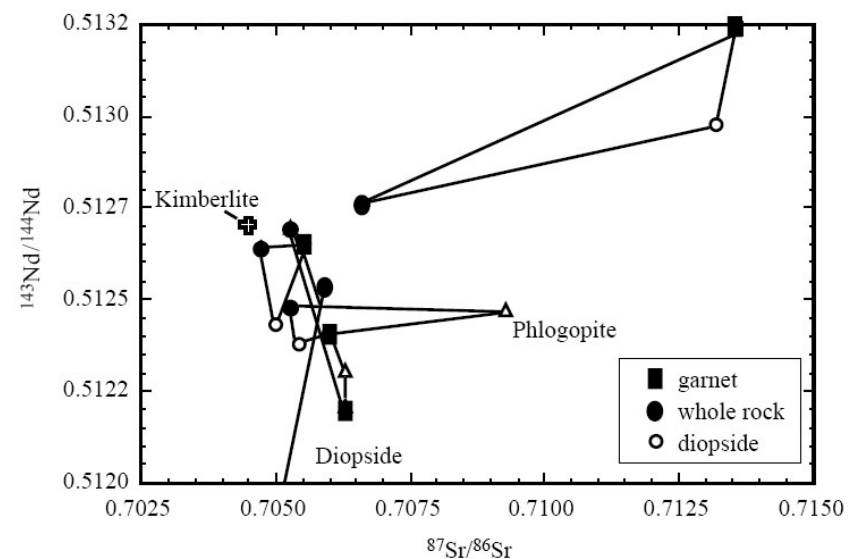
- ionizace vzorku pomocí plasmy
- magnet nebo kvadrupól na separaci izotopů



Radiogenní izotopy

Primární vs. sekundární znaky

- WR analýzy → chybné izotopické složení
- důsledek alterace, přítomnosti tenkých LILE-bohatých vrstev na povrchu minerálů, kontaminace
- správné analýzy → minerální separáty (cpx, grt atd.) loužené v kyselinách a bez příměsy inkluzí
- výjimku tvoří Re-Os systém?



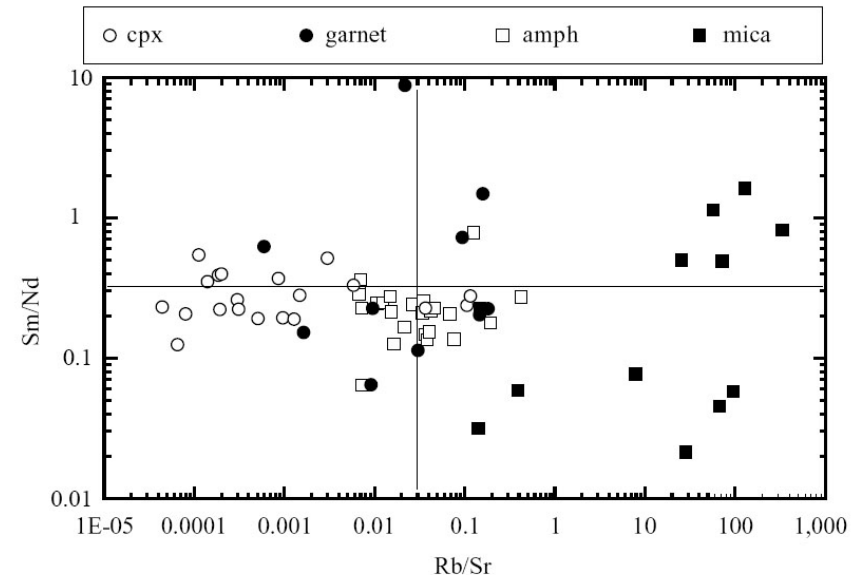
Richardson et al. (1985)

Walker et al. (1989)

Izotopové ekvilibrium mezi minerály

Primární vs. sekundární frakcionace

- minerály nevykazují znaky ochuzeného pláště
- často silně ovlivněno metasomatózou
- různá ekvibrace izotopů → velká variabilita dat (např. Sm-Nd vs. Rb-Sr)
- stáří většinou erupce host. horniny nebo metasomatózy → NE stáří protolitu

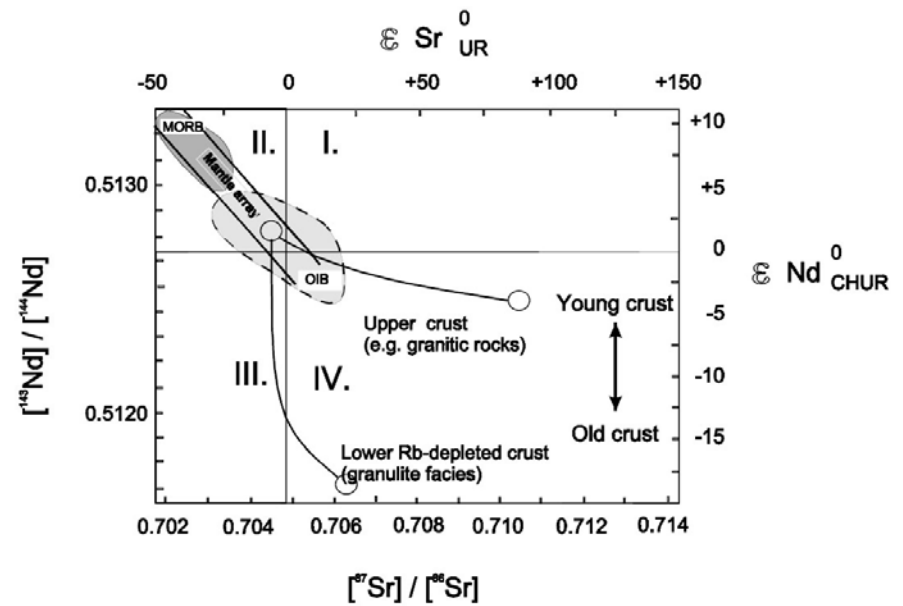
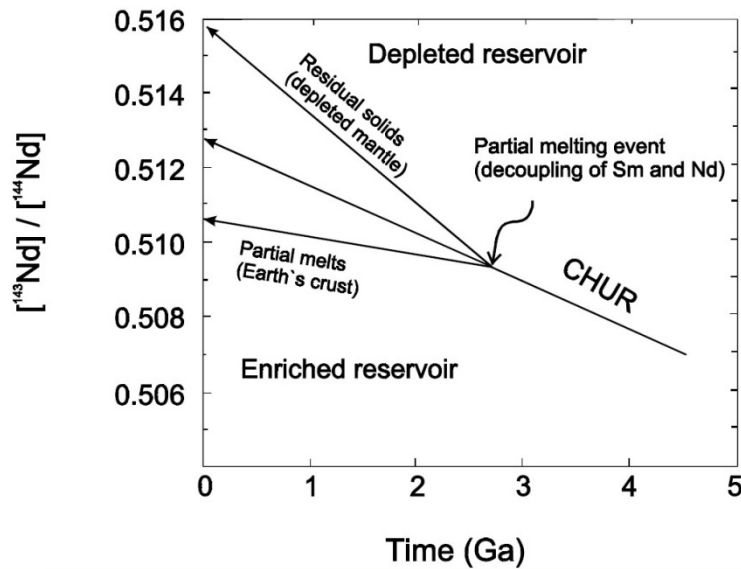


Pearson et al. (2002)

Izotopová geochemie Rb-Sr a Sm-Nd svrchního pláště

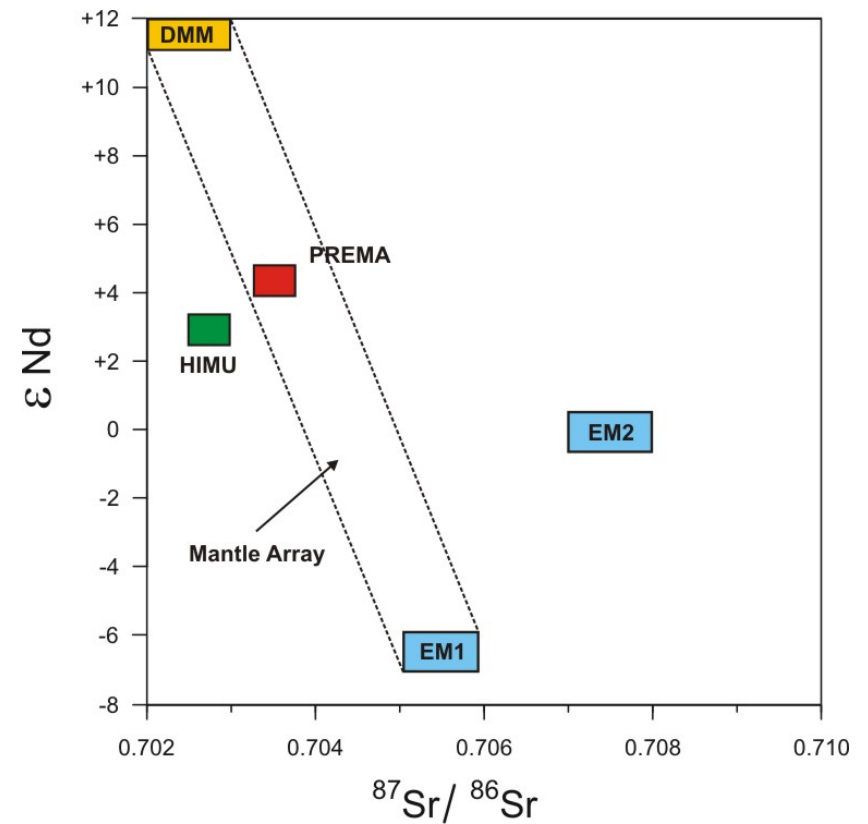
- $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$ (β^-)
 - vysoký poměr Rb/Sr v důsledku parciálního tavení
 - izotopová geochemie Sr
 - sledování subdukce
- $^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$ (α)
 - vysoký poměr Sm/Nd v důsledku parciálního tavení
 - datování hornin Sm-Nd (cpx, grt, WR)
 - izotopová geochemie Nd

Vývoj Sr-Nd izotopů



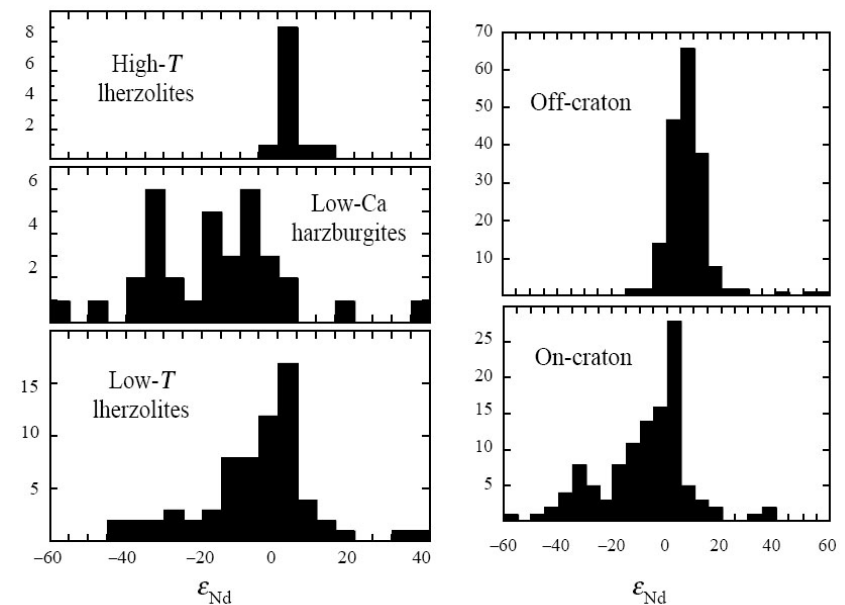
Sr-Nd rezervoáry svrchního pláště

- DMM → depleted MORB mantle)
- EM1 → plume
- EM2 → subd. oceánská kůra a sedimenty
- HIMU → vysoký $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$
- PREMA → DMM+HIMU+EM1



Izotopová geochemie Rb-Sr a Sm-Nd svrchního pláště – xenolity

- velmi vyrovnané ϵ_{Nd} u xenolitů mimo kratóny
- naopak u kratónů je silně heterogenní distribuce \rightarrow velký vliv metasomatózy



Pearson et al. (2002)

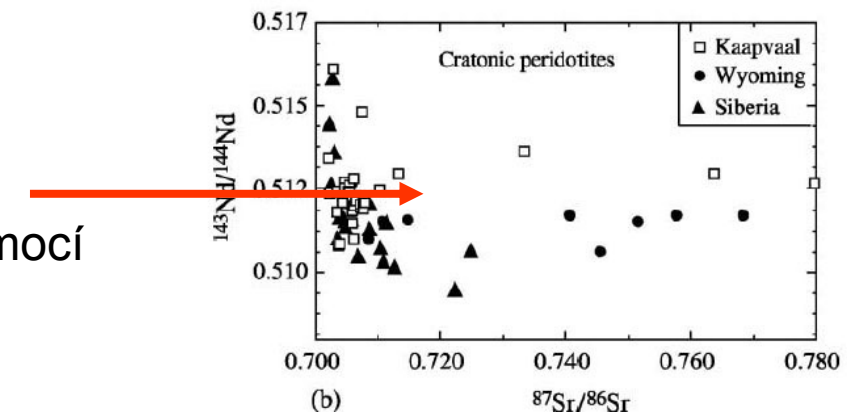
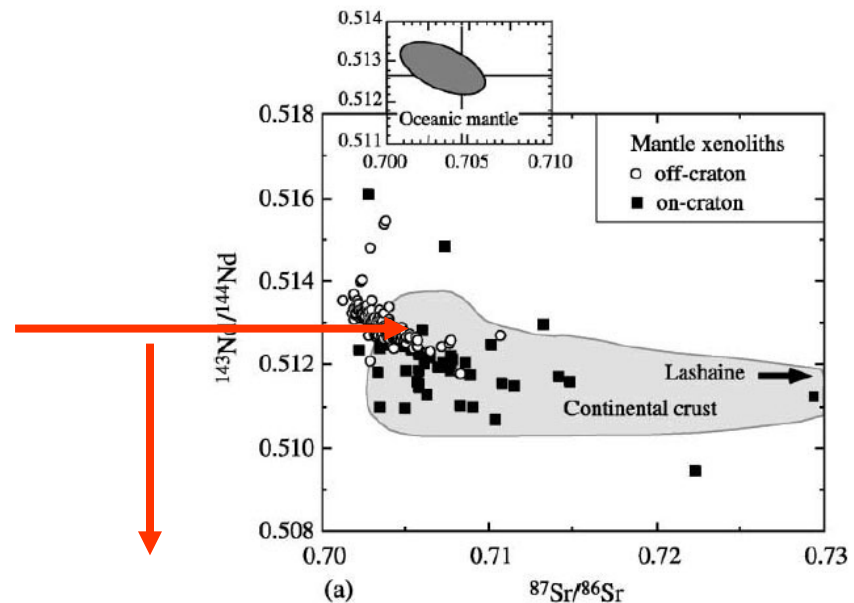
Izotopová geochemie Rb-Sr a Sm-Nd svrchního pláště – xenolity

- vysoké $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ je většinou interpretováno jako výsledek metasomatózy fluidy (subdukční zóny)

- rozptyl $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ může být znakem metasomatózy karbonatitovými taveninami

Nicméně nikdy nelze dělat závěr pouze z izotopických studií !!!!

např. Ionov (2002) → vysoké $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pomocí chromatografické frakcionace silikátové taveniny



Izotopová geochemie Rb-Sr a Sm-Nd

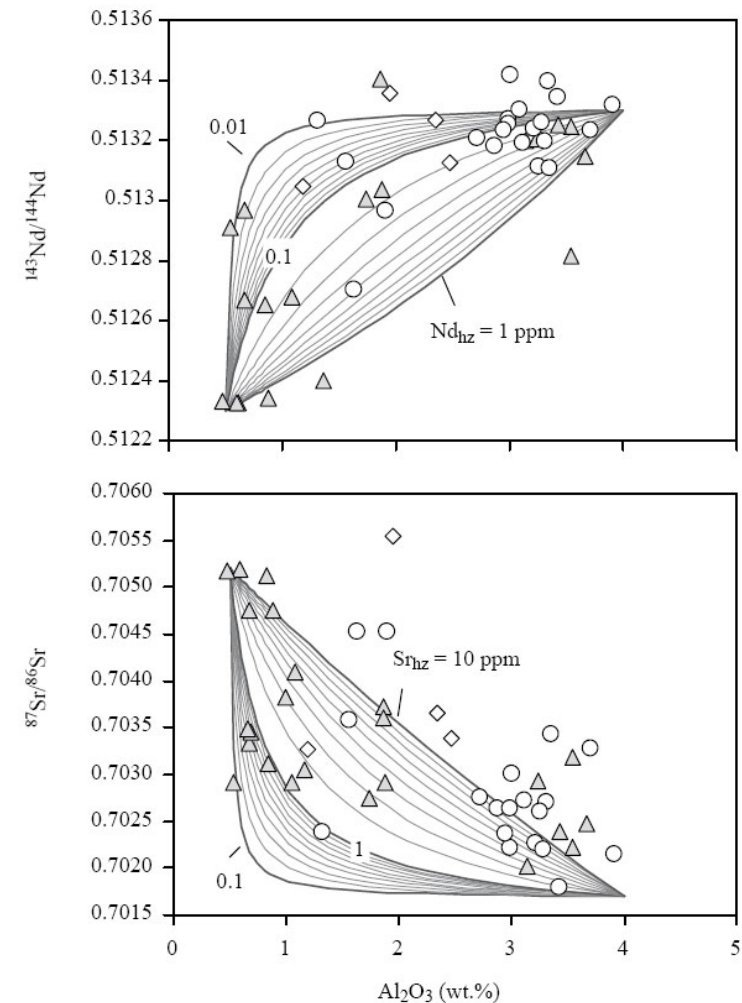
SP Orogenní pd, abysální pd, ofiolity

- velký problém alterací → vysoké $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
- velmi vysoké rozptyly v eNd a často velmi vysoké, nerealistické eNd → jiný proces než parciální tavení?
- na druhou stranu lherzolity většinou velmi primitivní a homogenní (DMM) složení
- malá role metasomatózy?
 - páskované pd (harzburgit, dunit)
 - pyroxenity

Izotopová geochemie Rb-Sr a Sm-Nd

Páskované harzburgity a dunity

- metasomatóza LREE-bohatou silikátovou taveninou (chrom. frakcionace)
- míšení litosférického a astenosférického pláště → „marble cake“ model

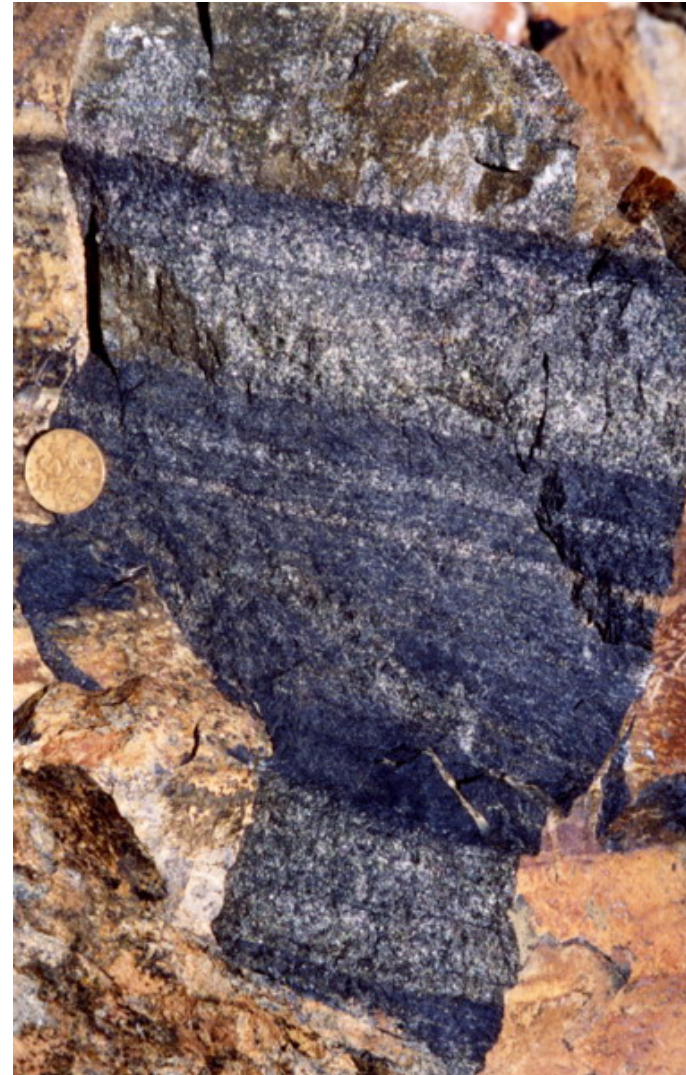


Pearson et al. (2002)

Izotopová geochemie Rb-Sr a Sm-Nd

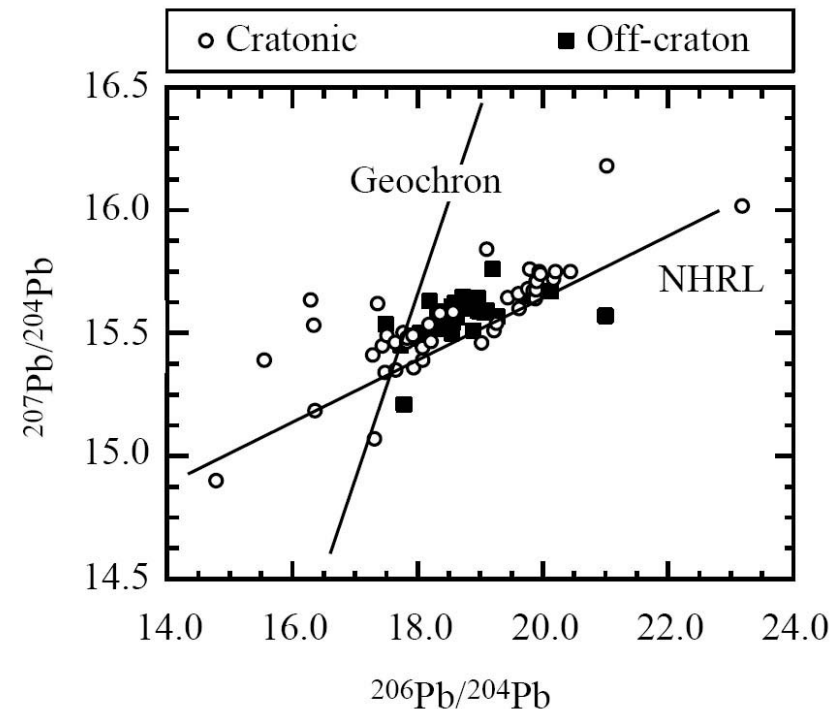
Pyroxenity

- části oceánské litosféry?
- parciální taveniny subdukované oceánské desky?
- velmi heterogenní Sr-Nd-Pb-Os izotopické složení → dlouhá doba setrvání vs. parciální tavení



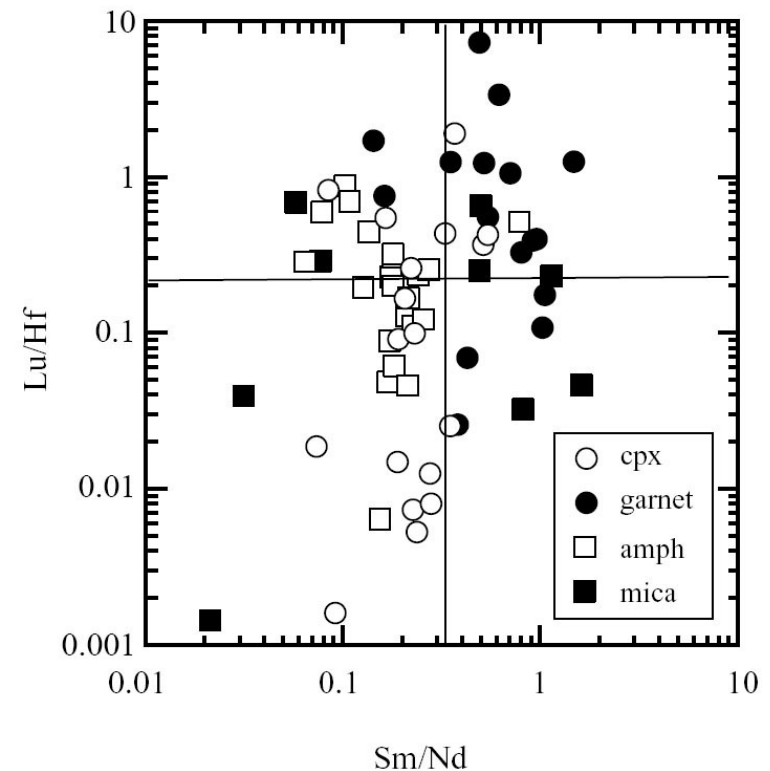
Izotopová geochemie Pb

- data převážně z xenolitů/pd postižených metasomatózou
- velká $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ a $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ variabilita u pd, naopak homogenní u px
- větší rozptyly u kratónních xenolitů → dlouhý vývoj



Izotopová geochemie Lu-Hf

- pouze málo dat → problémy s ionizací Hf
- velká frakcionace Lu/Hf mezi minerály (cpx-grt apod.)



Pearson et al. (2002)

Izotopová geochemie Lu-Hf

- velmi radiogenní $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ často při konstantním Nd → staré ochuzení pláště při přítomnosti granátu
- odolnost systému vůči metasomatóze → datování protolitů!
- možnost určení stáří parciálního tavení

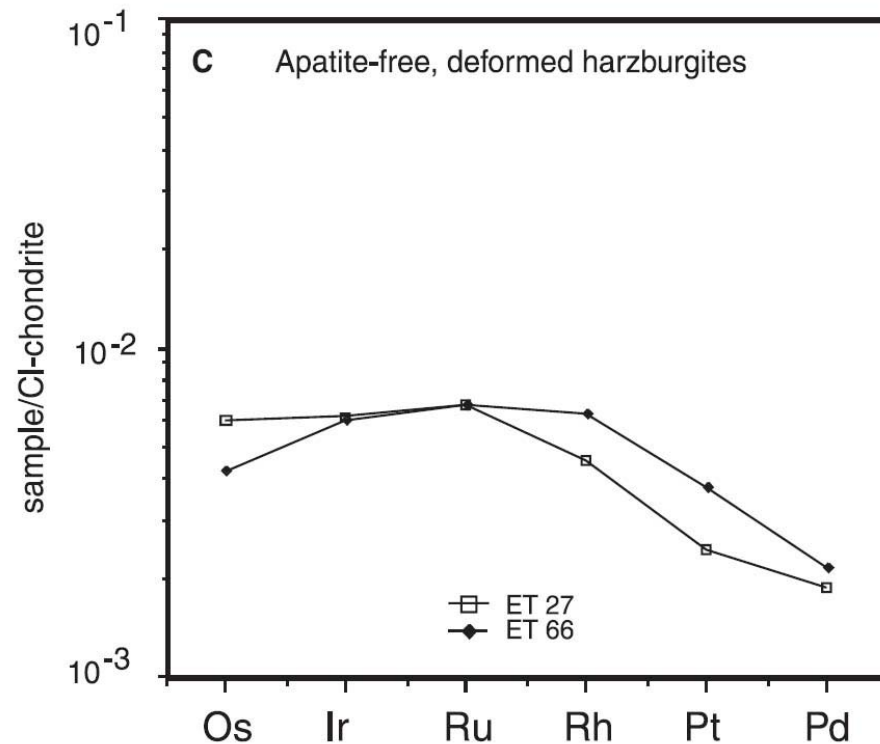
Geochemie silně siderof. prvků (HSE)

Izotopová geochemie Re-Os

- silně siderofilní prvky – PGE (Os, Ir, Ru, Rh, Pd, Pt) + Au, Re
- separace do jádra při prvotní diferenciaci Země
- nicméně vyšší koncentrace v plášti než předpovídají modely → „late veneer“
- I-PGE (Os, Ir, Ru) vs. P-PGE (Pt, Pd) + Re
- extrémní D sulf/sil
- různé geochemické chování

Chování HSE při parciálním tavení

- klíčovou roli hrají sulfidy
- $F < 20\%$ PGE kompatibilní
- $F > 20\%$ I-PGE kompatibilní P-PGE, Re nekompatibilní

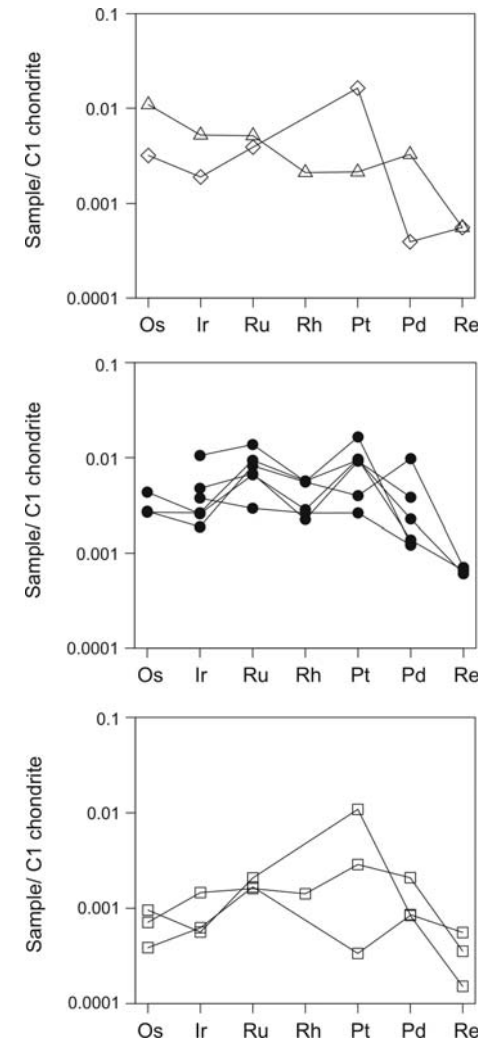


Chování HSE při metasomatóze

- stále mnoho nejasností
- S-saturované taveniny → precipitace HSE-bohatých fází
- S-nesaturované taveniny → nekompatibilní HSE
- velkou roli určitě hraje několik faktorů
 - sulfidy
 - typ metasomatózy a chemismus taveniny/fluida
 - hodnota poměru tavenina/hornina
 - HSE-slutiny?, fugacita? atd.

Chování HSE při metasomatóze II

- silná frakcionace HSE při metasomatóze
- při vysokém poměru tavenina/hornina → HSE nekompatibilní
- Pt koncentrováno v HSE-slitinách?



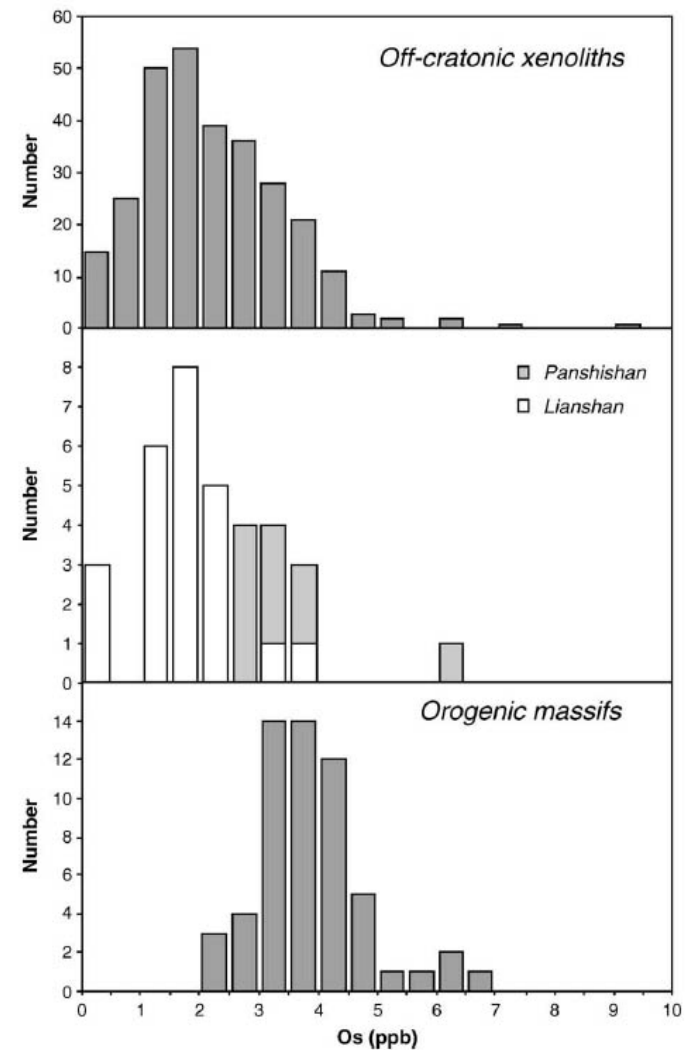
Geochemie silně siderofilních prvků

Izotopová geochemie Re-Os

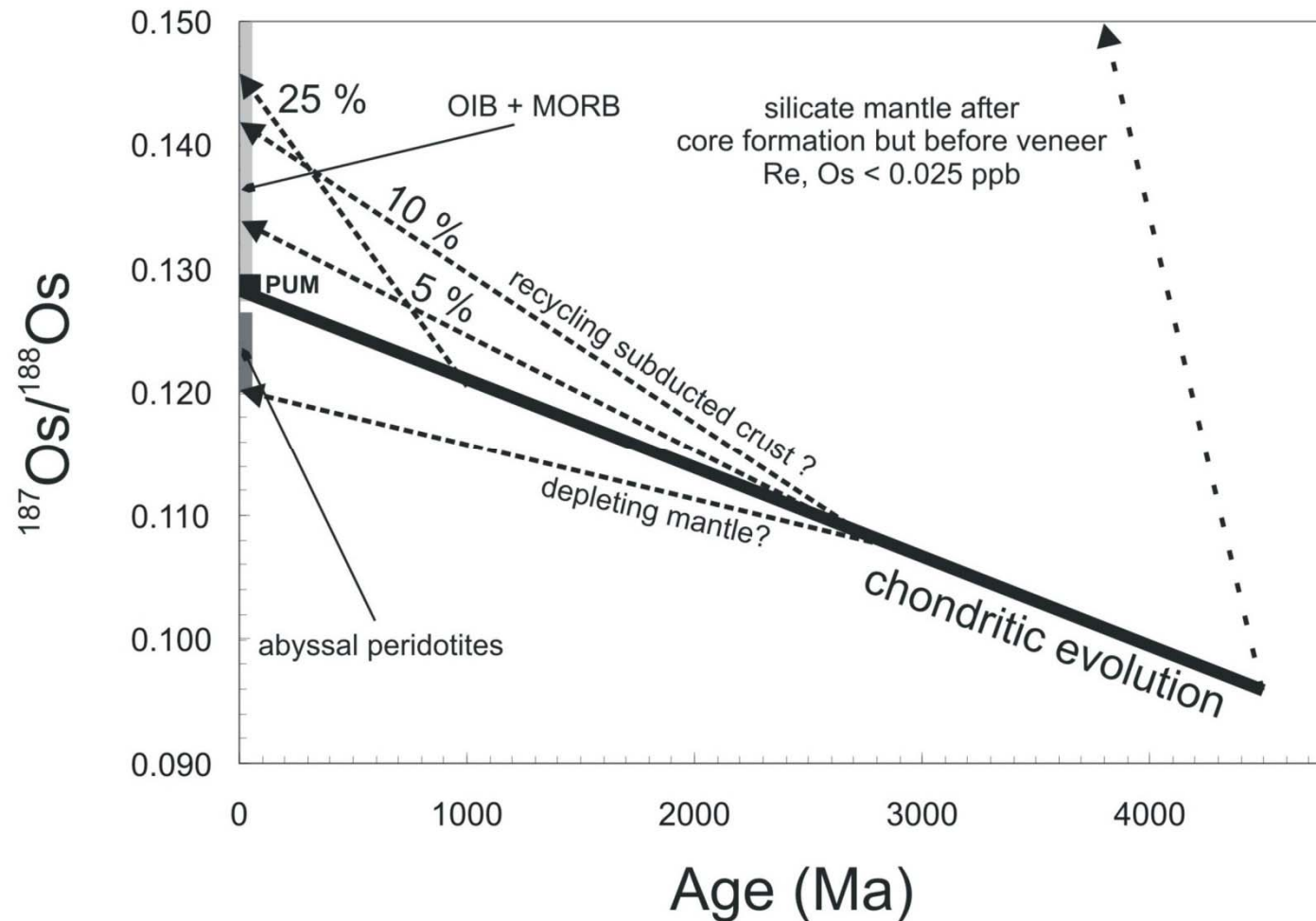
- $^{187}\text{Re} \rightarrow ^{187}\text{Os}$
- unikátní systém
- Re, Os \rightarrow rozdílné chování při parciálním tavení i metasomatóze
- Re nekompatibilní při parciálním tavení zatímco Os je kompatibilní
- vysoká mobilita Os v HT fluidech
- datování stáří parciálního tavení nebo metasomatózy
- silné ovlivnění metasomatózou?

Distribuce Os v horninách svrchního pláště

- nižší Os u xenolitů než u orogenních pd
- role vulkanických erupcí? → rozklad sulfidů
- role metasomatózy?

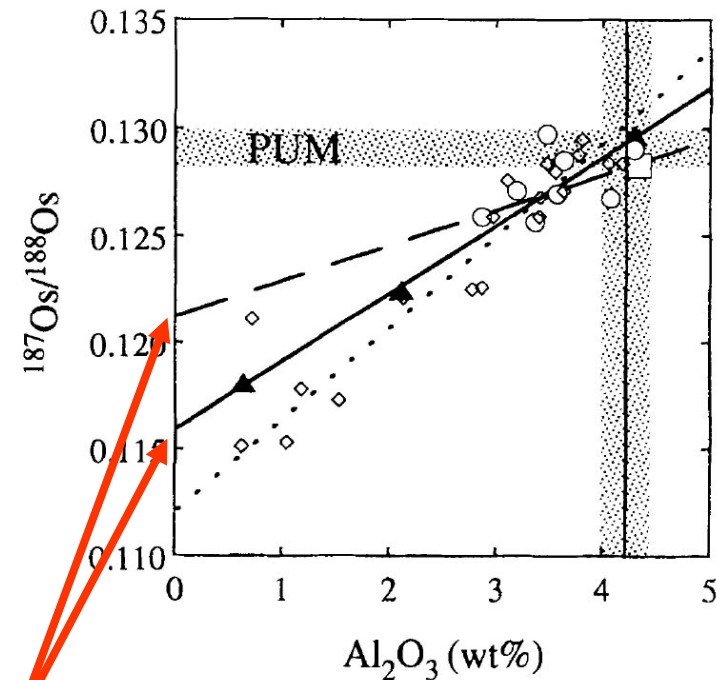


Vývoj izotopického složení Os



Určení stáří parciálního tavení

- Re nekompatibilní, Os kompatibilní → $F > 20\%$ téměř všechno Re odchází a „zamrzne“ tak Re-Os systém
- negativní korelace $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ vs. indicie parciálního tavení (Al, Ca, Yb apod.)
- výchozí materiál chondrit



Meisel et al. (1996)

iniciální
poměr

Vliv subdukce na Re-Os systém

- Re nabohacené v kůře (sedimentech) → VELKÝ přínos radiogenního Re do pláště (pyroxenity) → radiogenním rozpadem zvyšování podílu ^{187}Os → datování
- Os rozpustné v HT fluidech → přínos radiogenního Os ve fluidech