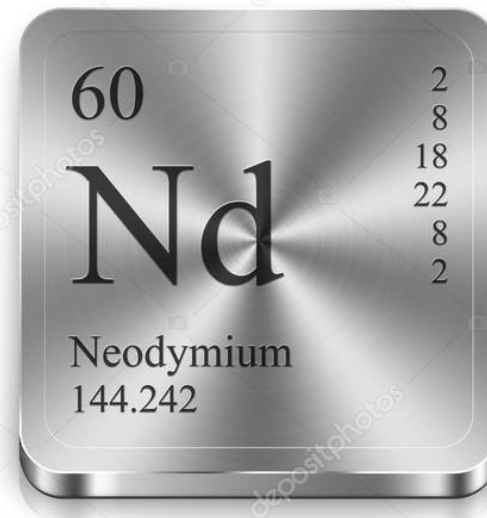




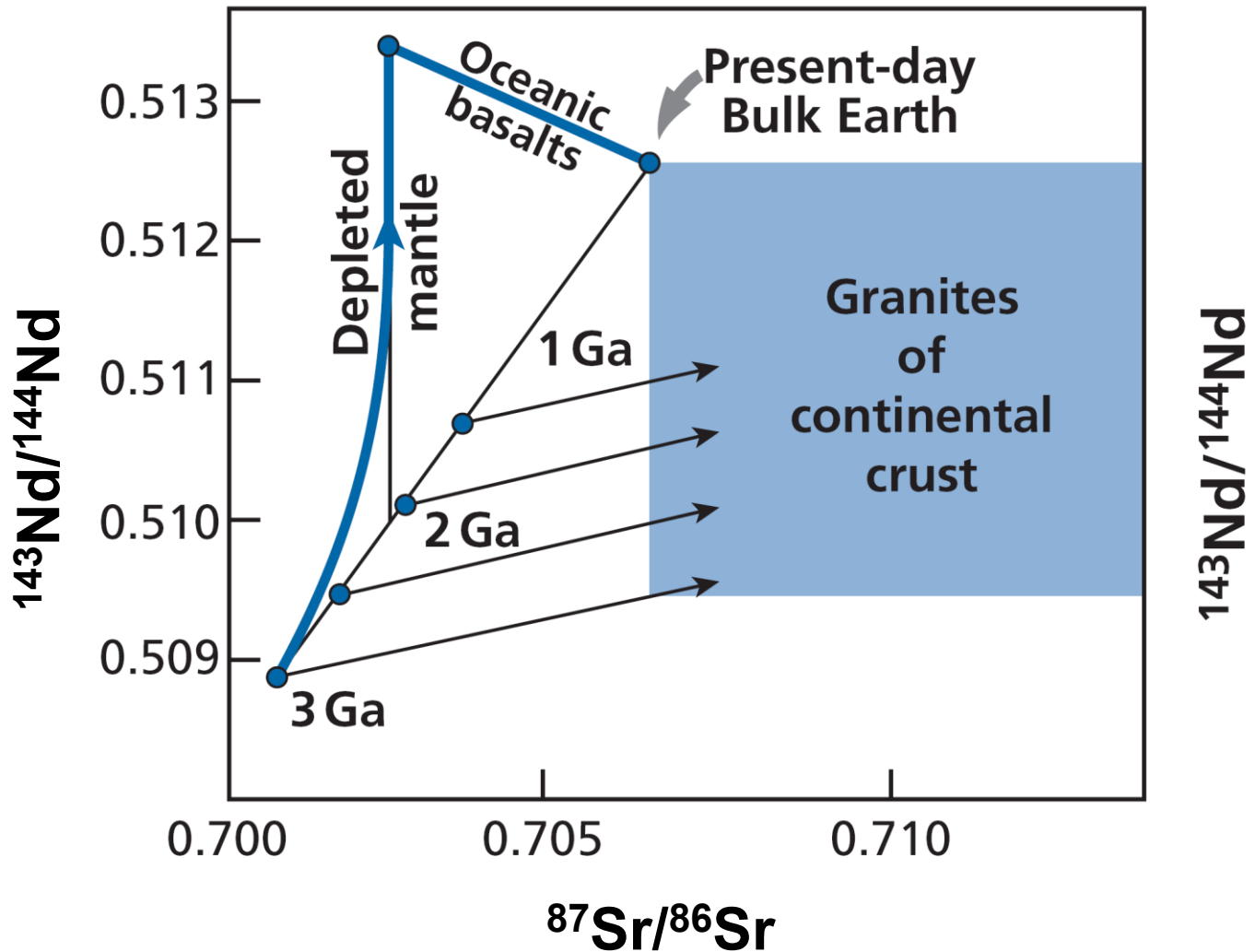
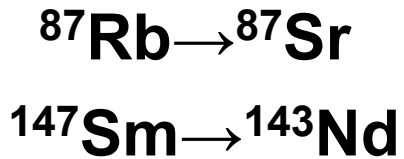
Institute of Geology of the CAS, v. v. i.



Izotopová geochemie – izotopy Sr a Nd



Proč Sr-Nd společně?



Stroncium



Syntetické krystaly stroncia ve skleněné ampuli naplněné argonem.

Stroncium

- Stroncium **Sr** (lat. *Strontium*) je čtvrtým prvkem z řady kovů alkalických zemin, který se svými vlastnostmi více podobá alkalickým kovům. Je to poměrně měkký, lehký a reaktivní kov.

Periodic Table of the Elements

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.056	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.631	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.972	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.294
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.328	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.227	78 Pt Platinum 195.085	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [209]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francium [223]	88 Ra Radium 226.025	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Nh Nihonium [284]	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium [288]	116 Lv Livermorium [293]	117 Ts Tennessine [294]	118 Og Oganesson [294]
57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium [145]	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.055	71 Lu Lutetium 174.967			
89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium [252]	100 Fm Fermium 257.095	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101	103 Lr Lawrencium [262]			
Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetal	Nonmetal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide								



Stroncium v petroleji

Stroncium

- název podle vesnice Strontian ve Skotsku
- objev:
 - 1790 – A. Crawford objevil nový minerál stroncianit
 - 1793 – M. H. Klaproth dokázal přítomnost dosud neobjevené – strontnaté zeminy
 - 1798 – T. H. Hope potvrdil nový prvek Sr
- v přírodě čtyři stabilní izotopy: ^{84}Sr (0,56%), ^{86}Sr (9,86 %), ^{87}Sr (7,0%) a ^{88}Sr (82,58%)
- $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$ (β^-)
 - poločas rozpadu $4.92 \cdot 10^{10}$ let
 - rozpadová konstanta $\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$
- dalších 31 nestabilních izotopů Sr bylo připraveno v laboratoři při jaderných rozpadech



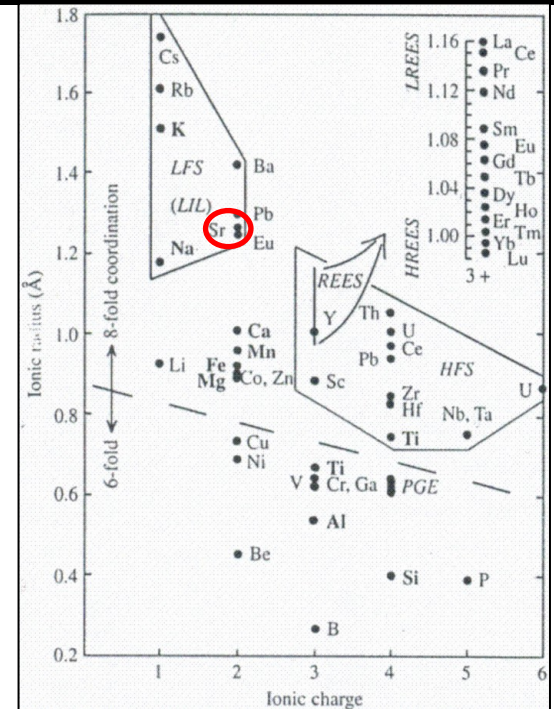
Stroncianit, Strontian (Skotsko)



Stroncianit (SrCO_3), Machor (Polsko)

Stroncium

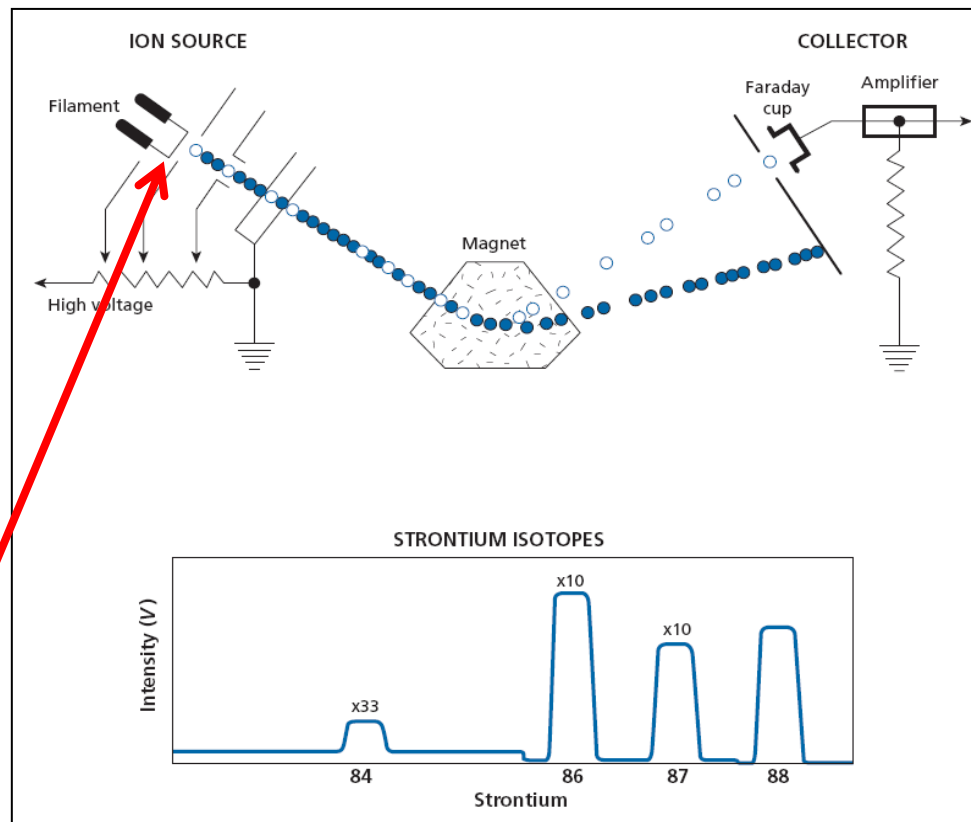
- ve sloučeninách Sr^{2+}
- iontový poloměr $\text{Sr}^{2+} = 1,26 \text{ \AA}$ (v oktaedrické koordinaci)
- hlavní minerály: **stroncianit** SrCO_3 a **celestin** SrSO_4
- substituce za Ca^{2+} v plagioklasech-anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), dále v kalcitu (CaCO_3), apatitu ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), sádrovci ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), titanitu (CaTiSiO_5)
- Sr rozpustné ve vodě a vodných roztocích – mobilní
- poměrně nekompatibilní
- **mořská voda** – průměrný obsah stroncia **8,1 mg/l** (ppm)
- koncentrace v kůře (**300–375 ppm**)



Celestin, ložisko Sankoany, provincie Mahajanga (Madagaskar)

Příprava vzorků a měření izotopů Sr

- kyselý rozklad vzorku (volba chemikálií s ohledem na matrix)
- izobarická interference ^{87}Rb a ^{87}Sr (stejné hmotové číslo) – nutná dokonalá separace Sr od Rb (silně bazické iontoměniče)
- měření nejčastěji pomocí **hmotové spektrometrie s termální ionizací (TIMS)**.
 - evaporace a ionizace – na dvojitém (trojitém) Ta nebo Re vlákně

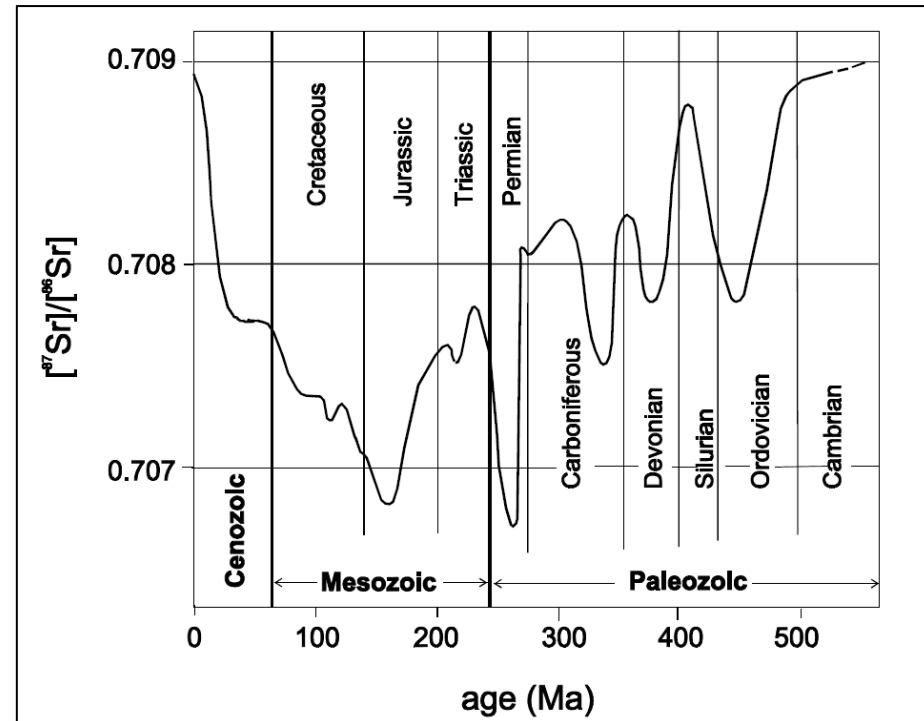


Využití izotopů Rb-Sr

- datování hornin (minerálů) starších víc jak 10 Ma
- stanovení stáří vyvřelých, metamorfovaných i sedimentárních hornin
 - horniny s výrazným podílem **K-minerálů** – biotit, muskovit, K-živec, glaukonit, smektit, illit, adulár,...
- pro úspěšné datování musí být splněny následující podmínky
 - datované horniny/minerály musí být kogenetické
 - všechny horniny pocházející z homogenního zdroje mají **stejný iniciální poměr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$** ale **rozdílný současný poměr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$**
 - datované minerály/horniny se během geologické historie chovaly jako uzavřený systém (vzhledem k ^{87}Rb a ^{87}Sr)
- studování vzniku magmatu a procesů vedoucích k jeho vzniku, mísení dvou magmat (známe-li poměry Rb/Sr a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ zdrojového materiálu nebo jednotlivých koncových členů)

Využití izotopů Rb-Sr

- datování stáří sedimentů
- současná homogenní mořská voda $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7090$
 - hodnota ovlivněna 3 zdroji
 - mořské sedimenty (střední hodnoty $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)
 - horniny kontinentální kůry (vysoké hodnoty $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \approx 0,720$)
 - mladé vulkanity ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \approx 0,704$)



Neodym



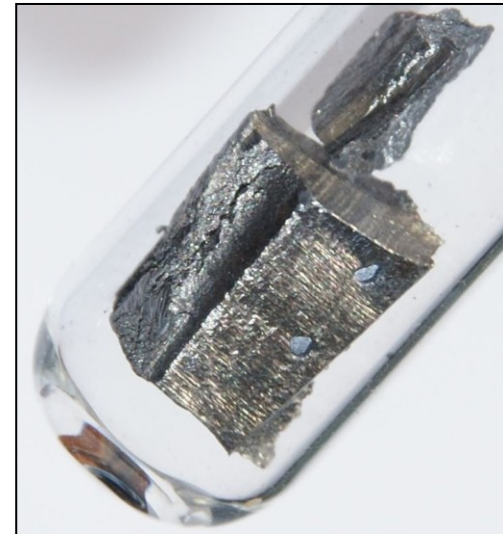
Monazit, Sao Joao da Chapada, Diamantina, Minas Gerais (Brazílie)

Neodym

- Neodym **Nd** (lat. *Neodymium*) patří do skupiny prvků vzácných zemin (**REE**), je čtvrtým členem skupiny lanthanoidů. Je to měkký, stříbřitě bílý, reaktivní, vnitřně přechodný kovový prvek, který se využívá k výrobě speciálních skel, keramiky a mimořádně silných permanentních magnetů ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$).

Periodic Table of the Elements

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.065	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.631	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 76.972	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.298
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.294
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.328	57-71 Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.227	78 Pt Platinum 195.085	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.384	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine 209	86 Rn Radon 222.018
87 Fr Francium 223.018	88 Ra Radium 226.025	89-103 Actinoids	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Nh Nihonium [284]	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium [288]	116 Lv Livermorium [293]	117 Ts Tennessine [294]	118 Og Oganesson [294]
57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.055	71 Lu Lutetium 174.967			
89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.095	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101	103 Lr Lawrencium [262]			
Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetal	Nonmetal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide								



Ultračistý neodym v argonové atmosféře.

Neodym

- název – z řečtiny *neos* - nový, *didymos* – dvojitý
- objev:
 - 1841 – Mosander izoloval novou látku – **didymium**
 - 1874 – P. T. Cleve – dva samostatné chemické prvky
 - 1885 – C. A. von Welsbach – rozdělení didymia na praseodym a neodym
 - 1925 – čistý kovový neodym
- v přírodě 7 izotopů:
 - **stabilní:** ^{142}Nd (27,13%), ^{143}Nd (12,18%), ^{145}Nd (8,30%), ^{146}Nd (17,19%), ^{148}Nd (5,76%)
 - **radioaktivní:** ^{144}Nd (23,80%), ^{150}Nd (5,64%)
- $^{148}\text{Sm} \rightarrow ^{144}\text{Nd}$ (α)
 - poločas rozpadu $7 \cdot 10^{15}$ let
 - ^{144}Nd – normalizace v Sm-Nd geochronologii
- $^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$ (α)
 - poločas rozpadu 106 Ga
 - rozpadová konstanta $\lambda = 6,54 \cdot 10^{-12} \text{ yr}^{-1}$
- v laboratoři připraveno dalších 31 izotopů Nd



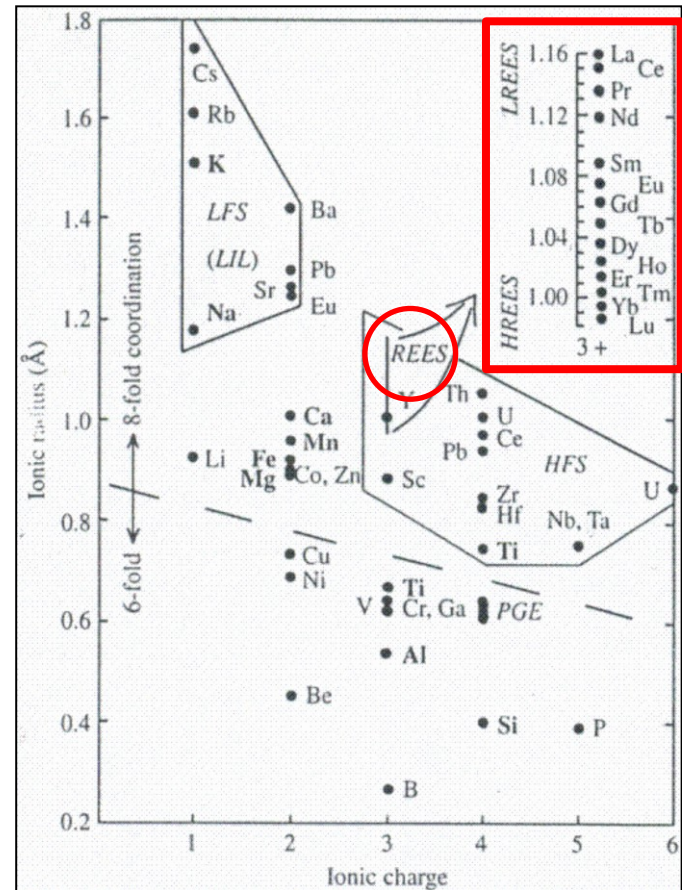
Monazit-(Ce), Serra Espinhaca,
Minas Gerais (Brazílie)

Neodym

- v přírodě ve formě sloučenin – Nd^{3+}
- iontový poloměr Nd^{3+} – 1,109 Å (v oktaedrické koordinaci)
- minerály – **sk. monazitu** $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th}, \text{Nd}, \text{Y})\text{PO}_4$, případně xenotim YPO_4 a **sk. bastnäsitu** $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y})\text{CO}_3\text{F}$



Monazit-(Nd), důl Siglo Veinte, Potosí (Bolívie)



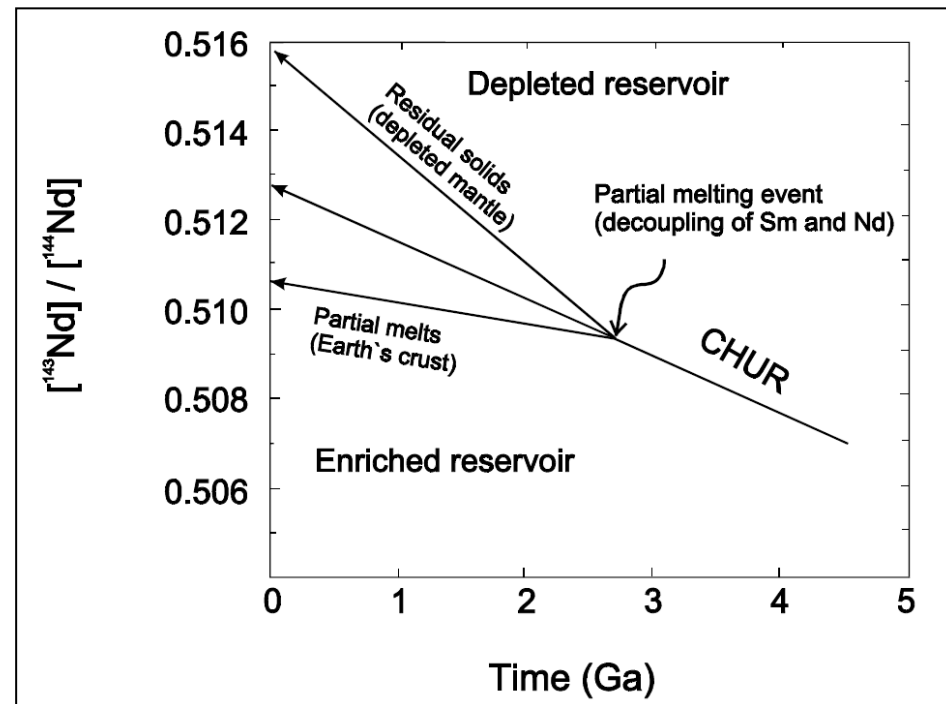
Využití metody Sm-Nd

- izotopický vývoj Země – **koncept jednotného chondritového rezervoáru („Chondritic Uniform Reservoir“ = CHUR)**
 - recentní hodnoty CHUR: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512638$
 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1967$
 - předpoklad – každá hornina na Zemi byla z tohoto rezervoáru odvozena a s jeho pomocí lze vypočítat hodnoty $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ v CHUR pro jakýkoli čas v minulosti podle rovnice:

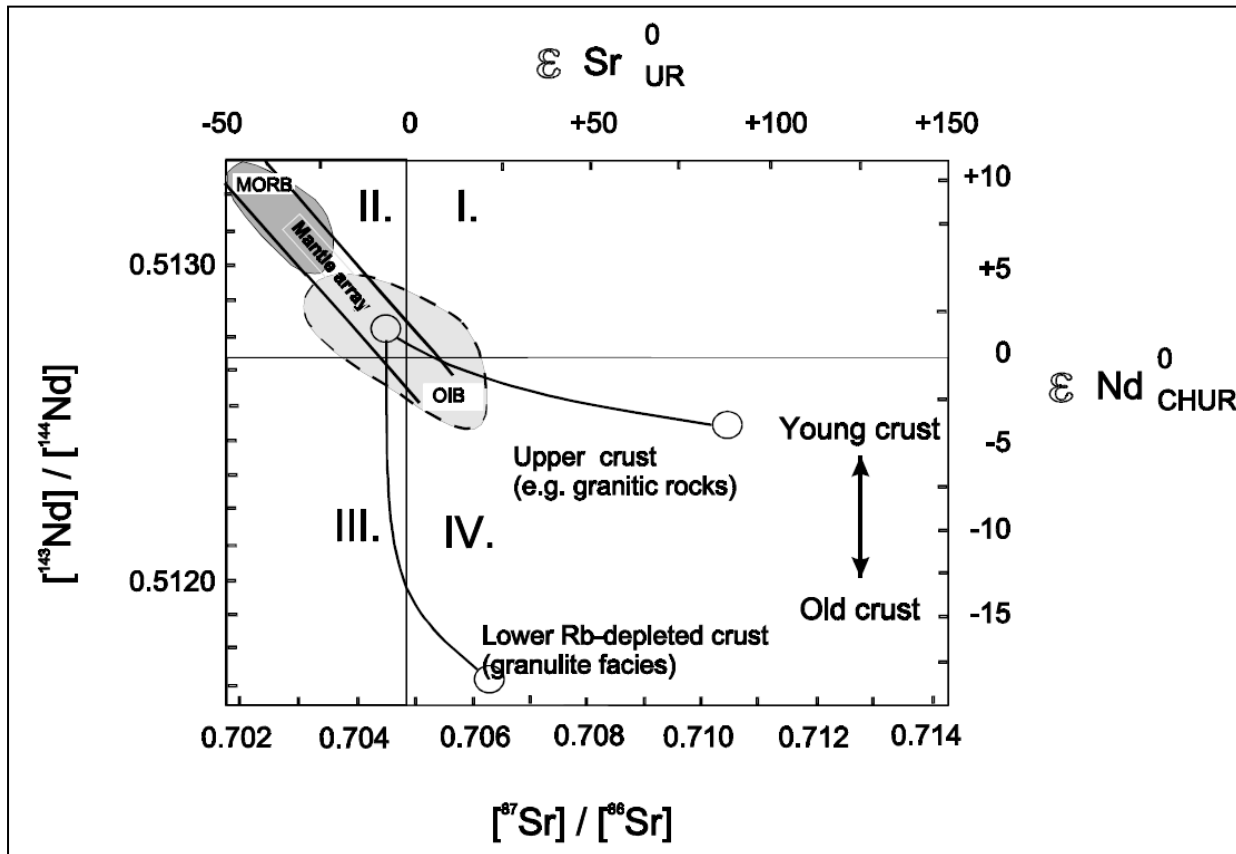
$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{CHUR}^t = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{CHUR}^0 - \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{CHUR}^0 * (e^{\lambda_{Sm}t} - 1)$$

- **parametr „ ϵ “** – relativní odchylka $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ve studovaném materiálu od CHUR

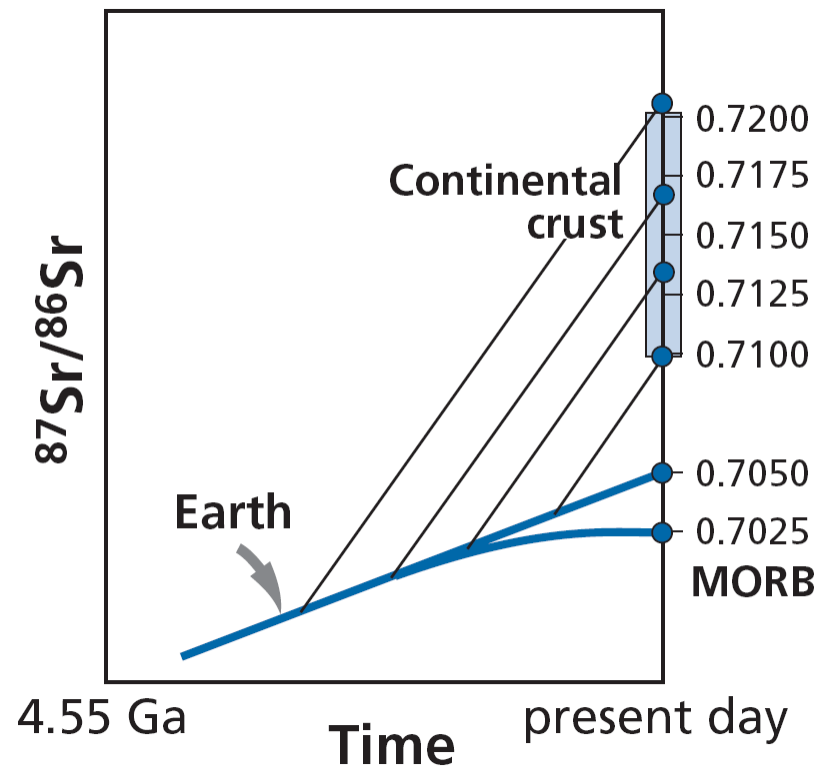
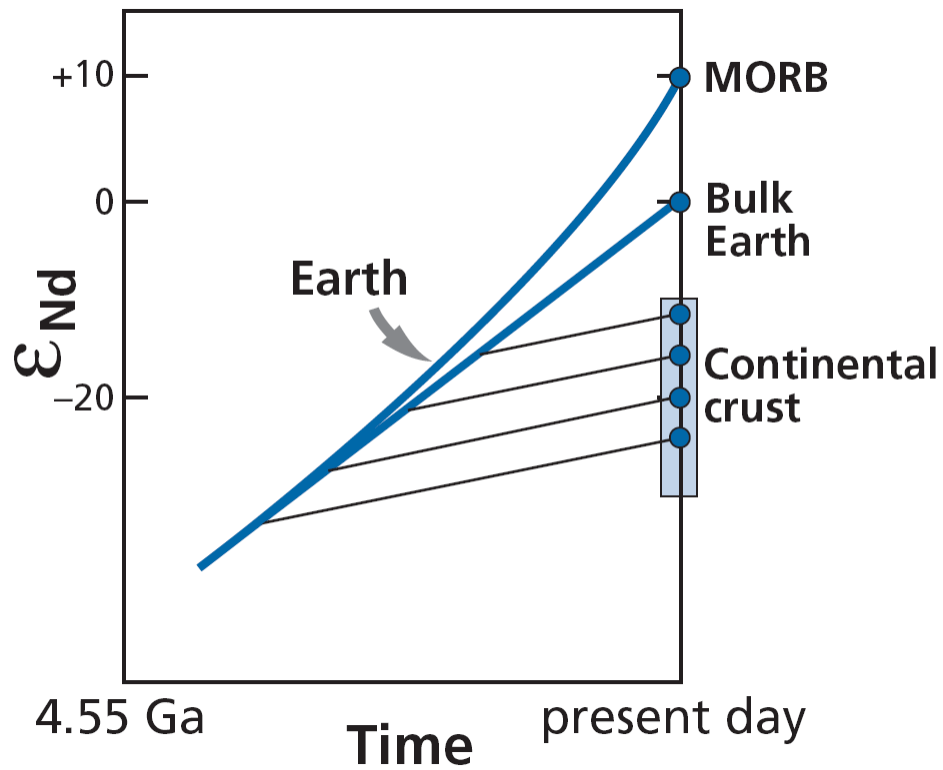
$$\epsilon_{Nd}^t = \left[\frac{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{VZOREK}^t}{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{CHUR}^t} - 1 \right] * 10^4$$



Sr/Nd využití

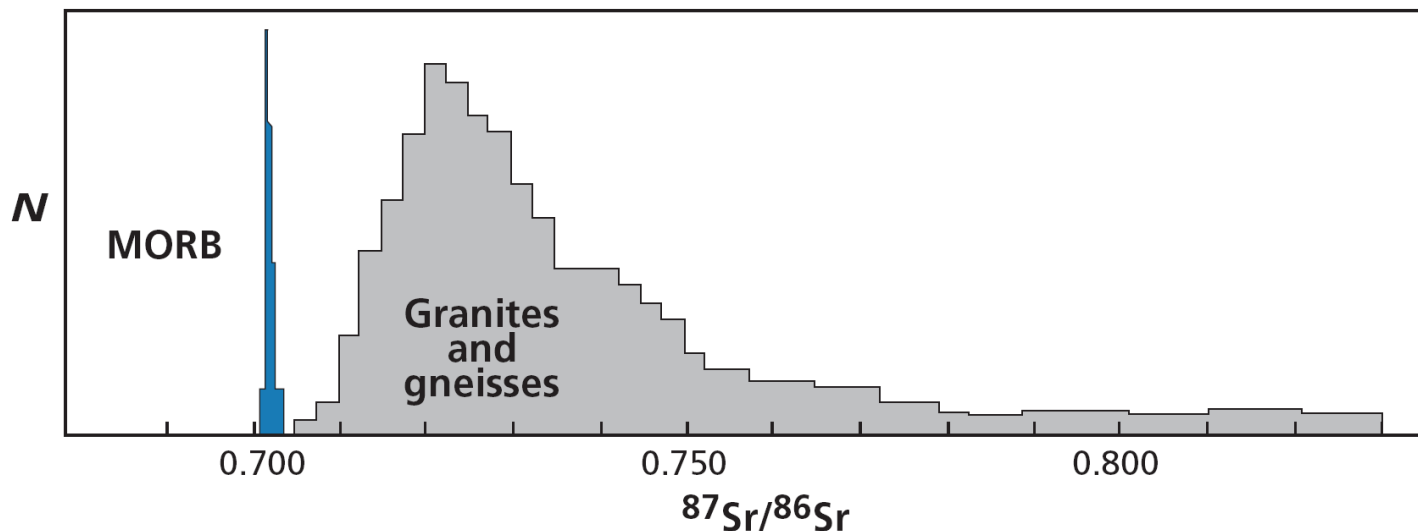


Sr-Nd



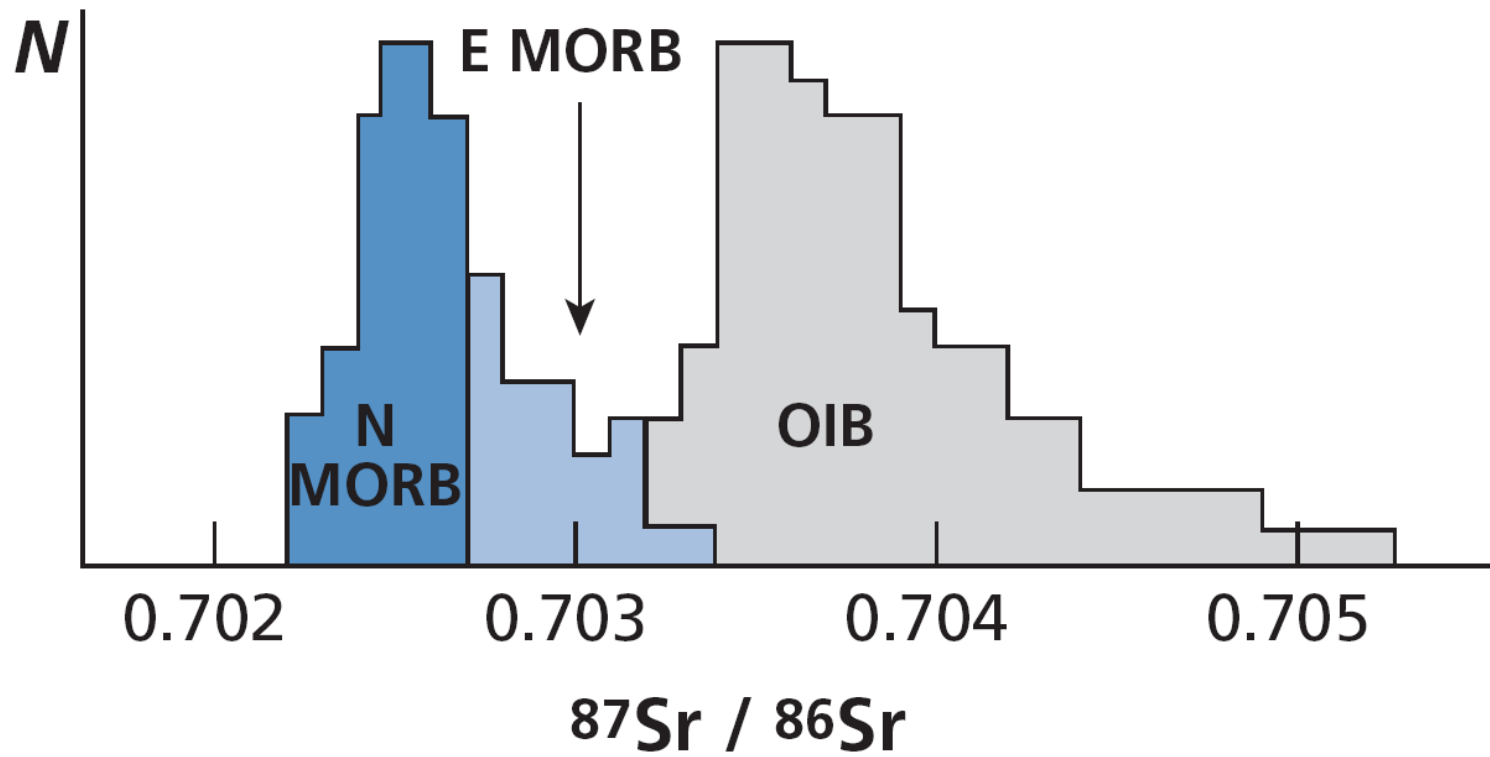
Sr-Nd

- Iničiální poměr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve svrchním plášti v době vzniku Země měl hodnotu velmi blízkou chondritům, tj. **0,699**.
- Variace v izotopovém složení Sr je bazaltů poměrně nízká ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,702$ až **0,707**) a odráží variace v izotopovém složení pláště.
- Variace v izotopovém složení Sr je granitů velmi vysoká ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,705$ až **0,850**) a odráží variace v izotopovém složení kůry.

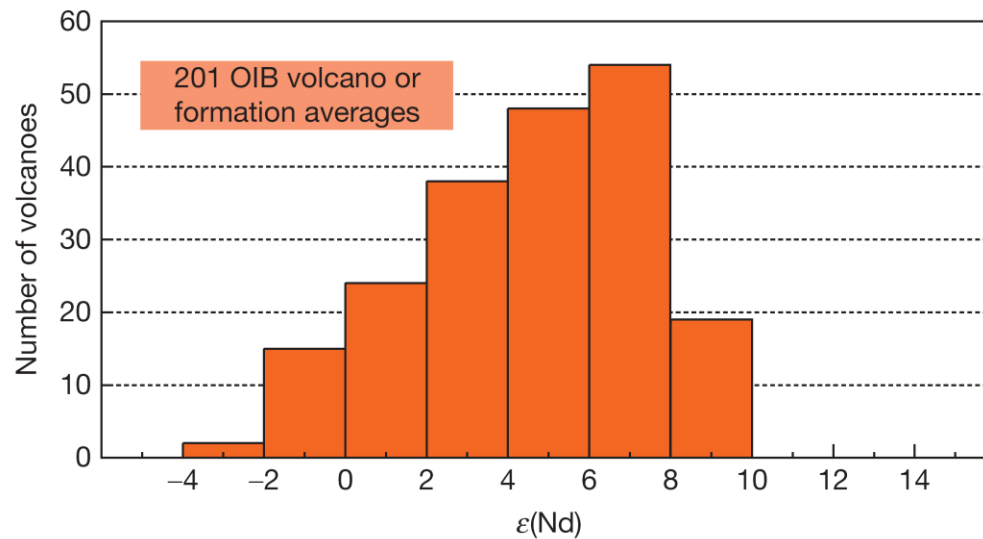
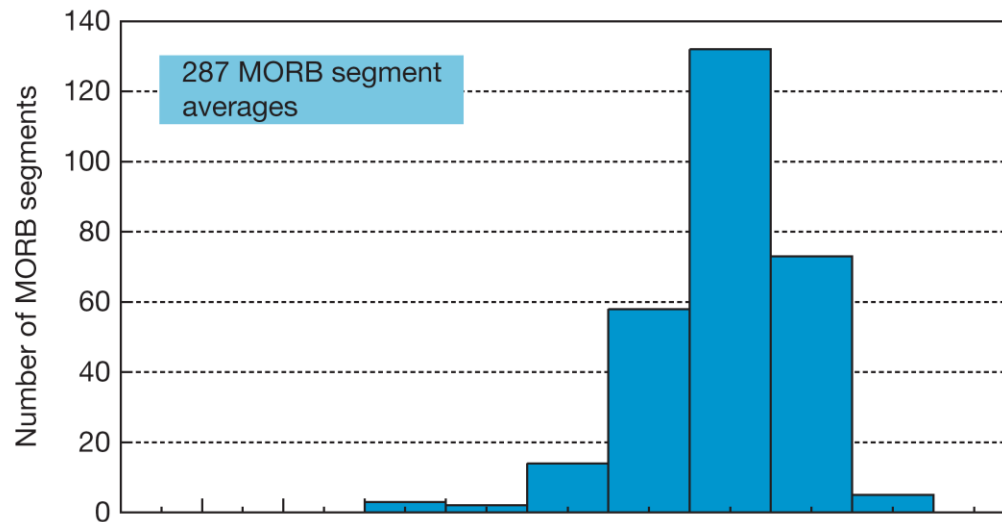




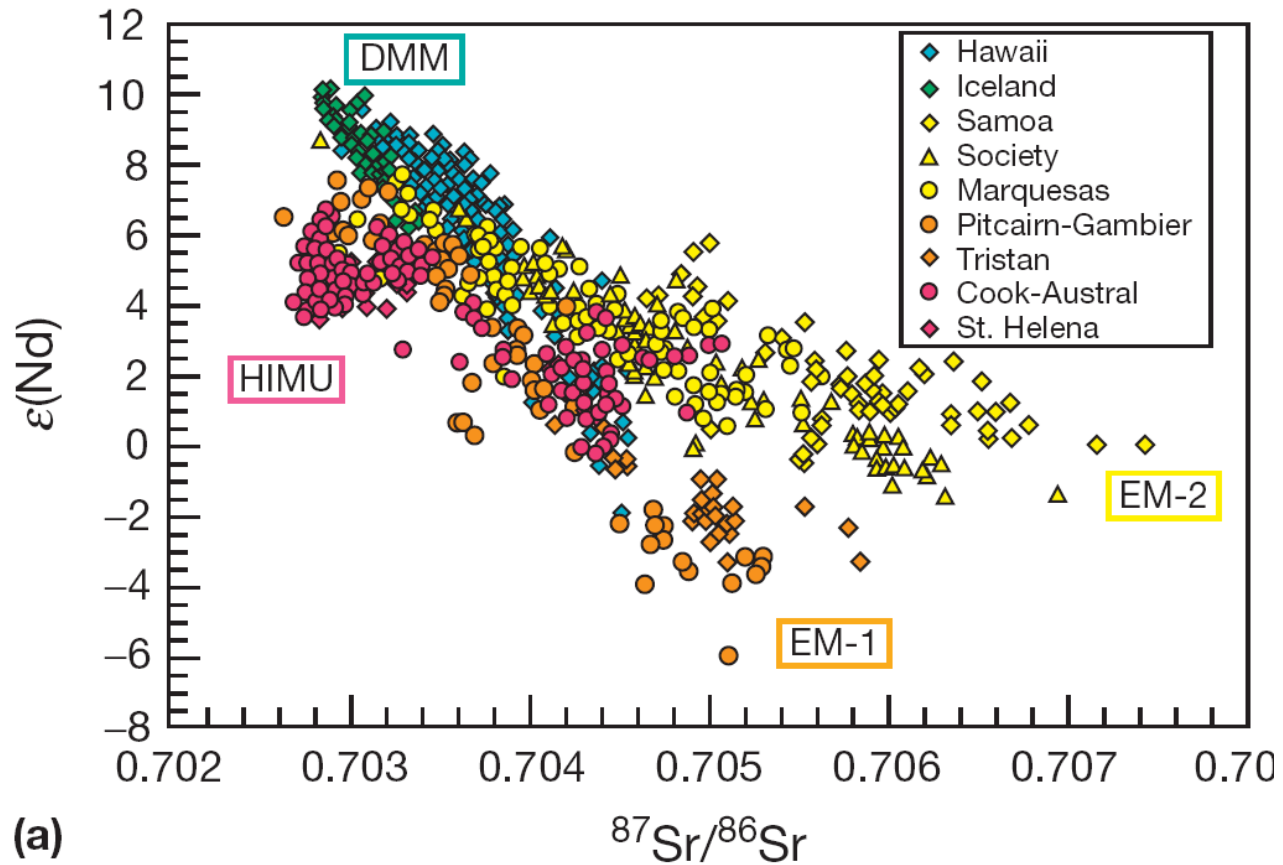
Sr-Nd



Sr-Nd



Sr-Nd



HIMU = magma source having a high $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ ratio