Exotické horniny a REE apatitová mineralizace masivu Ulugei Khid v Mongolsku

Exotic rocks and REE apatite mineralization of Ulugei Khid massif in the Mongolia

Jindřich Kynický [1] – Anton Chakhmouradian [2]

[1] Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno
[2] University of Manitoba, Winnipeg R3T 2N2, Manitoba, Canada

Key words: *carbonatites, nelsonites, apatite, REE, Ulugei Khid, Northern Gobi rift zone, Mongolia*

Abstract: The exotic rock suite of Ulugei Khid Massif is genetically related to alkaline magmatism of the Northern Gobi rift zone (Main Mongolia lineament) in South Mongolia. The most exotic carbonatites and nelsonites are coarse-grained rocks, consisting mainly of primary calcite, apatite and magnetite, followed by flogopite, REE-fluoro-carbonates, barite, celestine and other rare accessories. Apatite is the most important mineral phase of nelsonites and the second most abundant mineral in carbonatites studied. Representative crystals of apatite exhibit magmatic zoning when the measured LREE contents slowly decrease from the core towards the rim in all analyzed objects. General geochemical features of examined carbonatites and nelsonites are characterized by low concentrations of Nb, Ta, Th and U, and by very high contents of P, LREE, Ba, Sr, with extremely high positive Eu anomaly that is contrary to the associated silicate rocks and generally to any other carbonatite or nelsonite in Mongolia. This confirms the hypotheses that the Ulugei Khid carbonatites and nelsonites originated during a very unusual magmatic event.

Masiv Ulugei Khid je součástí rozsáhlé stejnojmenné vulkanoplutonické asociace alkalických hornin a karbonatitů v jižním Mongolsku. V širším okolí je přítomna řada dílčích vulkanoplutonických i samostatných plutonických ringových struktur. Ulugejský syenitový masiv má výraznou zonální stavbu a je tvořen horninovou asociací syenitů, dále pak leukomonzonitů a nejmladších kvarcsyenitů, které mají ekvivalenty i v podobě žilných subvulkanitů (porfyrické mikrosyenity). Tyto silikátové syenitické horniny jsou doprovázeny sérií exotických hornin, mezi nimiž dominují skupiny karbonátových pyroklastik, a nejvzácnějšími exotickými horninovými typy jsou pak kalcitové karbonatity a magnetit-apatit-kalcitové horniny (nelsonity). Hlavním cílem našeho studia jsou právě exotické horniny centrální zóny masivu Ulugei Khid, které nebyly doposud ve vědecké literatuře detailně popsány. Analýzy minerálů a hornin byly provedeny ve specializovaných laboratořích Masarykovy univerzity.

Historie výzkumů

Vulkanoplutonické asociace alkalických hornin a karbonatitů byly popsány v nálezové zprávě Baskyny et al. (1976), která charakterizuje geologickou stavbu širšího okolí. Dalším dílem o studovaných vulkanoplutonických asociacích alkalických silikátových hornin a karbonatitů je práce Samoilova a Kovalenka (1983). Tito autoři poukazují na přítomnost primárních i metasomaticky přeměněných karbonatitů s ložiskově nedůležitými obsahy REE a detailně se jimi nezabývají.

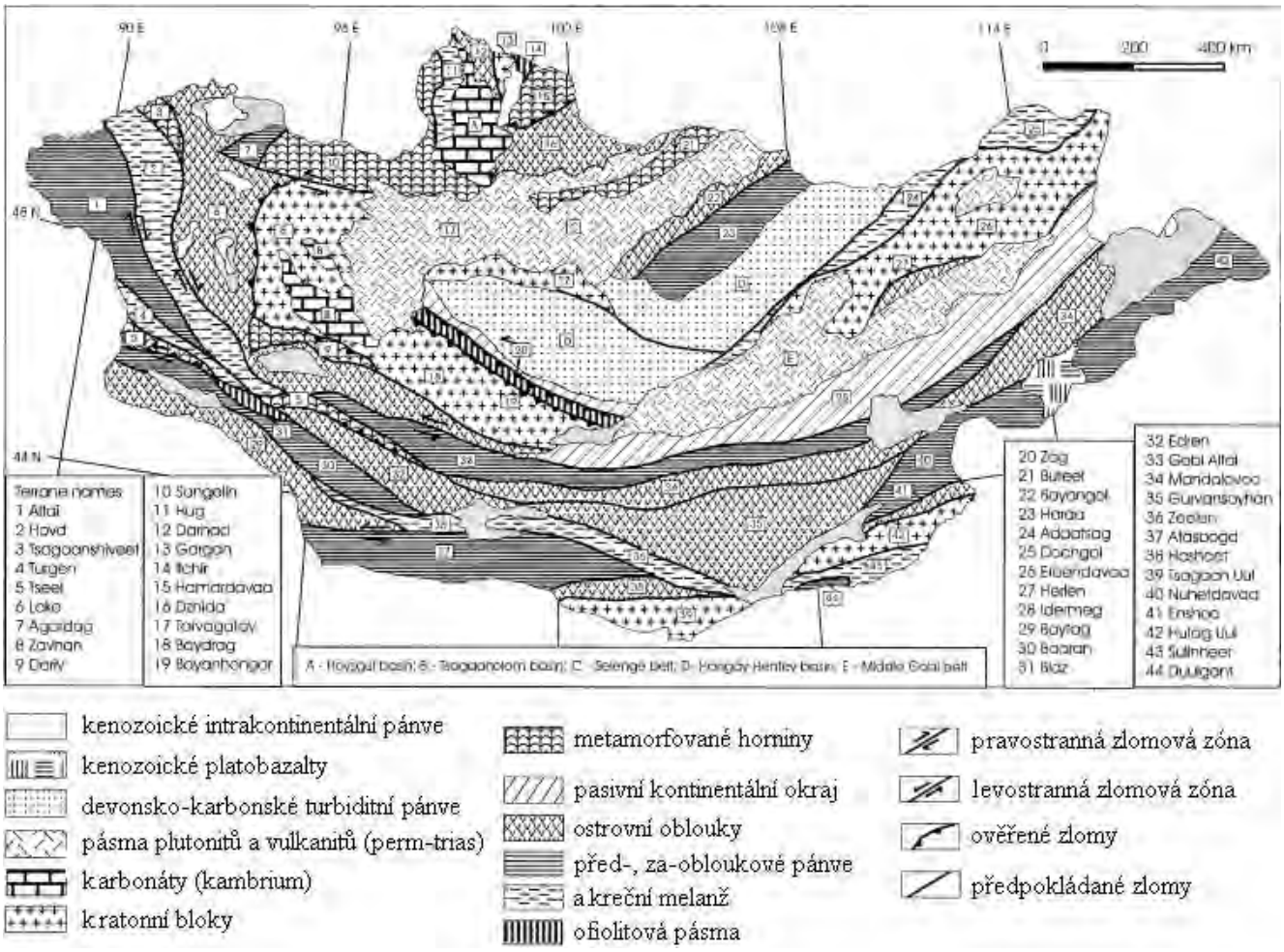
Nově se karbonatity na Ulugei Khid zabývali např. Kynický a Kynická (2004), Kynický (2006) a poprvé byly nelsonity z dané oblasti zmíněny v práci Kynického et al. (2009). Autoři popisují masiv Ulugei Khid jako příklad zachovalého výskytu primárních hrubozrnných a relativně málo přeměněných kalcitových karbonatitů s výskytem unikátních přechodů karbonatit-nelsonit.

Geologická situace

Vulkanoplutonická asociace alkalických hornin a karbonatitů Ulugei Khid v jv. části severogobijské riftové zóny v jižním Mongolsku (obr. 1) tvoří rozsáhlé těleso o průměru ca 25 km. Hlavním horninovým typem jsou alkalické trachyty (nefelinové a leucitové variety) v podobě samostatných těles lávových proudů o ploše i více než 50 km^2. Hlubinné alkalické horniny se vyskytují pouze v několika samostatných ringových strukturách a převládají mezi nimi syenity, v menší míře jsou i jejich porfyrické variety. Přítomny jsou rovněž vulkanosedimentární horninové asociace, a to jak v podobě silikátových, tak i karbonátových pyroklastik.

Největším z plutonických těles je ulugejský syenitový masiv (20 km^2), který má výraznou zonální stavbu s mohutnými apofýzami zasahujícími až 3 km do okolních vulkanosedimentárních hornin zejména na východní a severovýchodní straně masivu (obr. 2). Masiv je tvořen horninovou asociací alkalických syenitů, leukomonzonitů a nejmladších kvarcsyenitů, které mají ekvivalenty i v podobě žilných subvulkanitů (např. porfyrické mikrokvarcsyenity). Tyto silikátové syenitické horniny jsou doprovázeny sérií exotických hornin, mezi nimiž dominují skupiny karbonátových pyroklastik. Nejvzácnějšími horninovými typy jsou karbonatity a nelsonity, které proráží syenity v centrální a jižní části masivu.

Na okrajové partie se vážou zóny karbonatitových, přechodových kalcit-apatitových a vzácně i čistě nelsonitových brekcií o mocnosti až 150 m, které jsou pronikány mladšími žilnými tělesy karbonatitů.



Obr. 1. Zjednodušená geologická mapa teránové stavby Mongolska, s vyznačením regionálních jednotek, zlomových pásem a pozice asociace alkalických hornin a karbonatitů Ulugei Khid (Badarch et al. 2002, upraveno).

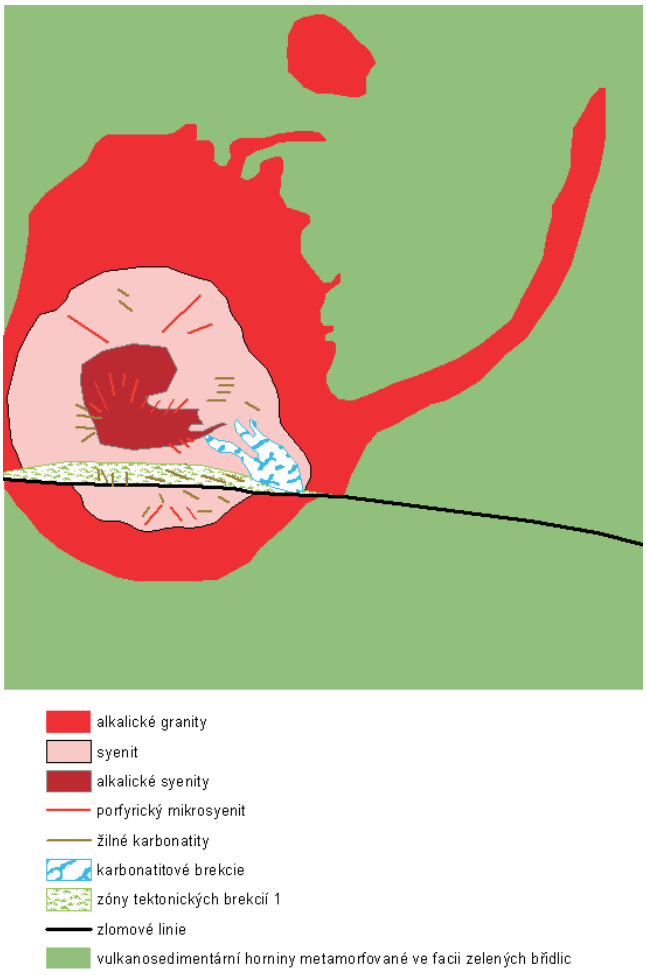
Nejrozšířenějšími exotickými horninami jsou rané kalcitové karbonatity, které tvoří jak žilná, tak čočkovitá tělesa a menší pně (o průměru do 4 m) a často přecházejí se zvyšujícím se množstvím apatitu, popř. apatitu a magnetitu do hornin nelsonitové řady. Nelsonity byly nově zastiženy v místech výrazně erodovaných břehů periodických toků řek („wadi"); vystupují jako samostatná žilná a čočkovitá tělesa (délka 20–150 m, mocnost 0,5–3 m), drobnější pně (o mocnosti max. 20 m), tak i jako přechodové žilné horniny karbonatit-nelsonitové řady, které mají délku do 100 m a mocnost okolo 1 m. Kontakty nelsonitů s okolními syenity jsou velmi ostré a projevy hydrotermálně metasomatických přeměn dosahují zpravidla nízkého stupně.

Petrografická charakteristika karbonatitů a nelsonitů

Masiv Ulugei Khid je příkladem výskytu primárních nepřeměněných nebo jen velmi mírně hydrotermálně metasomaticky přeměněných karbonatitů a nelsonitů, (obr. 3a–c). Často pozorujeme přechody od masivních do symetricky páskovaných struktur (obr. 3d–e).

Karbonatity mají výrazné zonální stavby, dané odlišně významnou přítomností zeleného, nahnědlého a šedého apatitu. Mikrostruktura je místy porfyrická, převážně však panxenomorfně zrnitá (obr. 3f–h). Žilná tělesa studovaných karbonatitů jsou tvořena primárním kalcitem (až 90 %) a apatitem (nejčastěji 5–20 %, avšak nezřídka přechází až do nelsonitů – obsahují tedy více než 50 %), k nimž zejména v přechodových horninách karbonatit-nelsonitové řady přistupuje magnetit (1–20 %). Zpravidla akcesoricky, ale velmi variabilně se vyskytují stroncianit, baryt, celestin, fluorkarbonáty, monazit a sulfidy. Podle klasifikace patří studované vzorky karbonatitů k hrubozrnným kalcitovým karbonatitům.

Nelsonity jsou tvořeny převážně automorfními a hypautomorfními krystaly apatitu (50–99 obj. % (obr. 3i), které uzavírají hypautomorfní krystaly či agregáty magnetitu (do 45 obj. %) a běžně i Mg-biotitu nebo flogopitu v kvantitativním zastoupení do 5 %. Ostatní minerály jsou méně časté, a až na kalcit a křemen nedosahují ani lokálně více než 2 obj. %. Z akcesorických minerálů je přítomen zirkon, rutil a titanit. Struktury jsou nejčastěji brekciovité, avšak vyskytují se i masivní a páskované stavby.



Obr. 2. Zjednodušená geologická mapa masivu Ulugei Khid.

Chemické složení studovaných karbonatitů a nelsonitů

Studium chemismu bylo provedeno na souboru vzorků reprezentativních karbonatitů a nelsonitů (tab. 1). Vzorky reprezentují profily kanav s nejméně zvětralými karbonatity a nelsonity centrální části ulugej khidského syenitového masivu (UGK-1, UGK-2 jsou zprůměrované hodnoty vždy pro 7 vzorků odebraných z konkrétního karbonatitového tělesa a UGK-3 a UGK-4 stejným způsobem zprůměrované hodnoty vždy pro nelsonitová tělesa). Analýzy karbonatitových brekcií ani přechodových a zvětralých hornin nebyly do této studie zahrnuty.

Ve studovaných karbonatitech i nelsonitech jsou velmi nízké obsahy Al_2O_3 (pod 0,34 hmot. %), naopak vysoké obsahy CaO (31–50 hmot. %) a poměr CaO/Al_2O_3 je vyšší než 100.

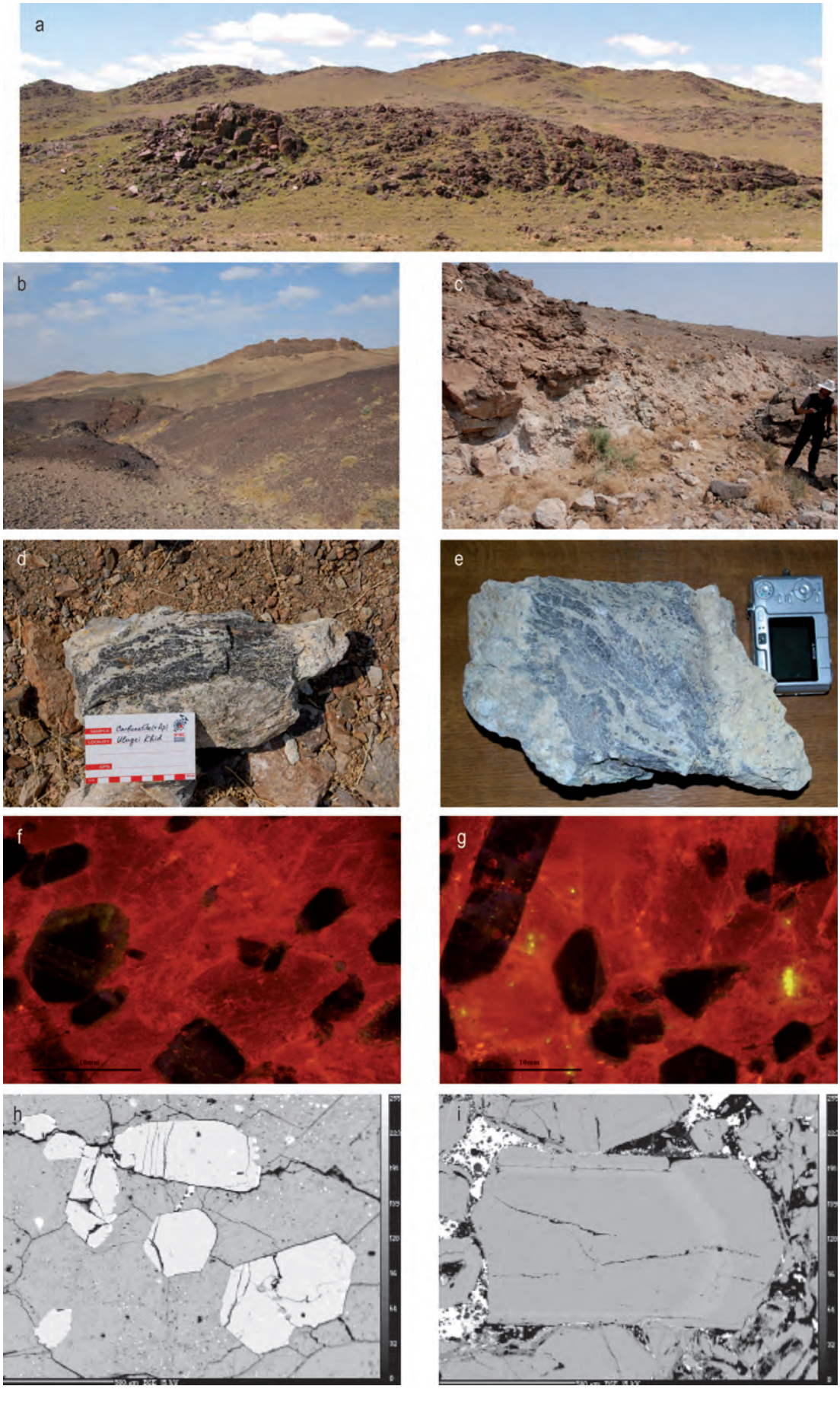
Nejnižší obsahy Fe_2O_3 a MgO byly zjištěny u raného kalcitového karbonatitu UGK-1. Obsah Fe_2O_3 se pohybuje okolo 1 hmot. % a MgO 0,1 hmot. %, poměr Fe/Mg do 10. Naopak řádově vyšších hodnot dosahuje obsah Fe_2O_3 v nelsonitech bohatých magnetitem, kde Fe_2O_3 dosahuje hodnot až 40 hmot. %, MgO 1,26 hmot. %, poměr Fe/Mg více než 30.

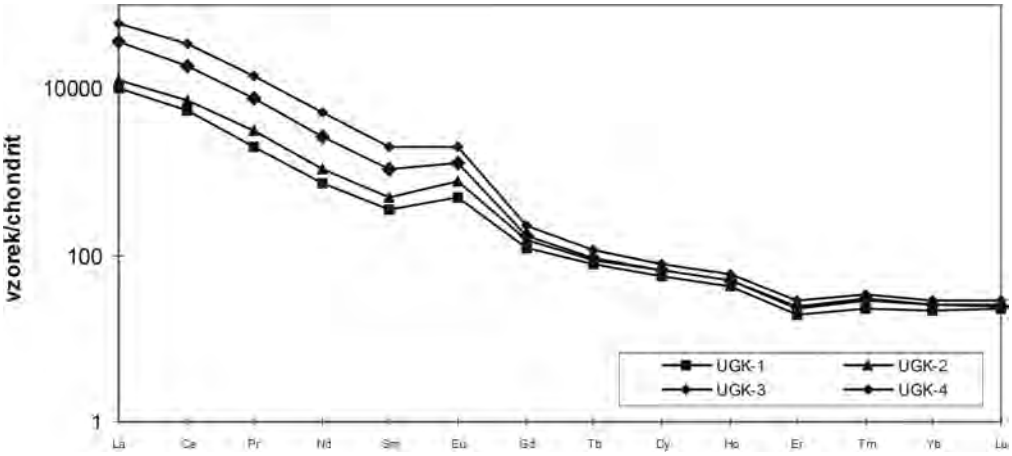
Tabulka 1. Chemické složení souboru reprezentativních karbonatitů a nelsonitů

	UGK-1	UGK-2	UGK-3	UGK-4
	karbonatit	karbonatit	nelsonit	nelsonit
SiO_2	0,97	2,53	7,16	5,35
TiO_2	0,06	0,14	0,48	0,76
Al_2O_3	0,11	0,25	0,34	0,21
Fe_2O_3	0,84	4,74	2,41	39,65
FeO	0,18	0,26	0,15	2,46
MnO	0,07	0,80	0,04	0,46
MgO	0,11	0,19	0,8	1,26
CaO	50,22	46,51	39,88	22,91
Na_2O	0,11	0,13	0,35	0,16
K_2O	0,02	0,03	0,23	0,12
P_2O_5	5,72	9,87	28,42	13,32
S	0,20	0,24	2,94	0,85
CO_2	34,39	29,78	2,18	4,92
H_2O^-	0,22	0,26	0,61	0,54
H_2O^+	2,08	2,50	1,21	0,89
celkem	95,29	98,22	87,20	93,87
Ba	690	566	41 944	24 440
Sr	38 858	8943	67 304	40 846
Zr	15,6	48,5	148,1	131,3
Hf	< 0,5	< 0,5	3,5	3,4
Nb	< 0,5	6,6	7,2	7,2
Ta	< 0,1	< 0,1	0,6	0,5
Th	4,6	22,6	9,5	9,6
U	3,2	9,4	6,3	4,1
Pb	72	162	469	187
Y	104	233	1308	672
La	6 896	8 704	41 944	24 440
Ce	9 650	13 134	61 304	32 846
Pr	537	840	3 982	2 141
Nd	992	1 486	7 082	3 535
Sm	161	219	872	493
Eu	85	128	339	211
Gd	71	90	136	103
Tb	8,4	9,4	12,5	9,9
Dy	41,6	49,2	58,2	48,7
Ho	6,8	8,2	9,8	8,1
Er	9,4	11,0	13,4	11,9
Tm	1,7	2,1	2,5	2,3
Yb	10,8	12,8	14,5	12,9
Lu	1,7	1,9	2,2	1,8

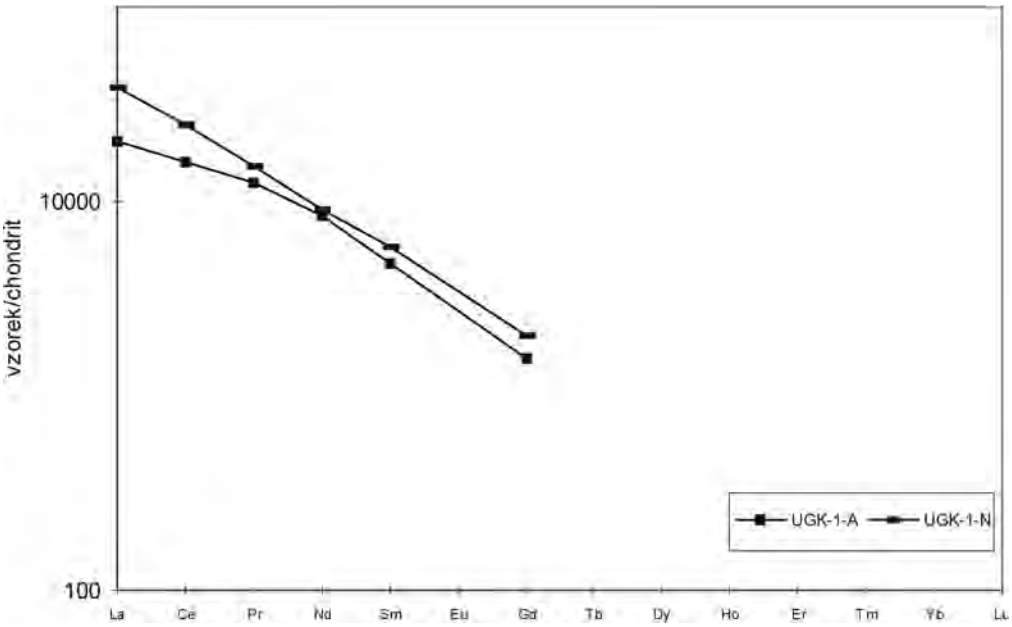
Obsahy Ti jsou ve studovaných karbonatitech nízké a dosahují max. 0,14 hmot. % TiO_2, zatímco u nelsonitů dosahují až 0,76. hmot. % TiO_2. Obsahy K_2O jsou v obou horninových typech velmi nízké (ca 0,03 hmot. % u karbonatitů a až o řád

Česká geologická služba / Czech Geological Survey, Praha 2011 / ISSN 0514-8057, ISBN 978-80-7075-769-7





Obr. 4. Distribuce REE v karbonatitech a nelsonitech, normalizované obsahy REE v chondritu podle Boyntona (1984); legenda v tab. 1.



Obr. 5. Distribuce REE v apatitech karbonatitů a nelsonitů, normalizované obsahy REE v chondritu podle Boyntona (1984). UGK-1-A – karbonatitový apatit, střed krystalu, UGK-1-N – nelsonitový apatit, střed krystalu; legenda v tab. 2.

výše u nelsonitů). Na_2O se pohybuje okolo 0,1 hmot. % v karbonatitech a dosahuje až 0,35 hmot. % v nelsonitech.

Pro studované karbonatity i nelsonity je typický zvýšený obsah Sr, Ba a REE, mají anomálně nízké obsahy Nb a Ta s relativně vysokým poměrem Nb/Ta a/nebo Th/U.

Výrazně zvýšené obsahy REE pozorujeme u nelsonitů, které jsou pravděpodobně vývojově starší než přítomné kalcitové karbonatity, mající chemické složení velmi blízké průměrnému kalcitovému karbonatitu. Zvýšené obsahy P_2O_5 (6 hmot. %) a SrO (až 20 000 ppm) i LREE dokládají zvýšenou přítomnost unikátního REE-apatitu a magmatického kalcitu obohaceného stronciem.

Průběhy křivek normalizovaných obsahů REE se navzájem mírně liší, avšak základní vzory křivek distribuce REE u studovaných jsou si velmi blízké (obr. 4), obdobně jako u normalizovaných křivek LREE u dílčích horninotvorných apatitů (obr. 5). Základní vzory normalizovaných křivek jsou mimořádné přítomností pozitivní anomálie Eu, kterou nevykazují žádné jiné karbonatity v Mongolsku (Kynický 2006). Velmi podobné jsou si i s průběhy normalizovaných křivek nelsonitů což jednoznačně potvrzuje společný genetický vývoj.

Chemické složení a anomální obsahy REE v apatitech

Chemické složení studovaného souboru apatitů z karbonatitů i nelsonitů je v obou případech velmi podobné, nicméně

←
Obr. 3. Fotodokumentace geologické situace horninových vzorků z masivu Ulugei Khid. a – reprezentativní širokoúhlý pohled na alkalické syenity prostoupené karbonatitovou brekcií, b – ukázka výchozu nelsonitu s tradičním hnědočerveným zbarvením od zvětralého magnetitu, c – výchoz karbonatitu ve wadi (periodickém říčním toku), d – vzorek hrubozrnného karbonatitu s mohutnými polohami apatitu, e – vzorek karbonatitových prožilků ve vývojově starším nelsonitu, f – katodová luminiscence (CL) zonálních apatitů v kalcitovém karbonatitu (oranžová luminiscence kalcitu), g – katodová luminiscence (CL) drcených zonálních apatitů v kalcitovém karbonatitu s fluorkarbonáty REE (žlutá luminscence), h – reprezentativní snímek apatitového karbonatitu v BSE, i – reprezentativní snímek nelsonitu s velkými oscilačně zonálními krystaly apatitu v BSE.

Tabulka 2. Chemické složení reprezentativních apatitů karbonatitů a nelsonitů

	UGK-1-A	UGK-2-A	UGK-3-A	UGK-1-N	UGK-2-N	UGK-3-N
	S	M	R	S	M	R
CaO	49,84	49,80	50,90	47,63	48,84	50,38
SrO	2,43	2,07	1,86	1,89	1,71	1,63
Na_2O	0,34	0,33	0,26	0,23	0,23	0,14
SiO_2	5,51	5,95	5,04	6,12	5,66	4,49
$P2O_5$	27,43	29,01	29,21	27,71	28,21	30,98
Y_2O_3	0,08	BD	BD	0,17	0,13	0,09
La_2O_3	1,76	1,55	1,41	2,62	2,35	1,72
Ce_2O_3	3,66	2,90	2,83	4,35	4,18	3,23
Pr_2O_3	0,24	0,37	0,34	0,42	0,31	0,24
Nd_2O_3	1,06	0,97	1,13	1,24	1,03	0,75
Sm_2O_3	0,22	0,18	0,21	0,26	0,24	0,11
Gd_2O_3	0,09	0,08	0,09	0,12	0,10	BD
F	3,07	2,71	2,85	2,48	2,51	2,76
Cl	BD	0,05	0,07	0,10	0,12	0,07
SO_3	4,13	3,87	3,78	4,59	4,25	3,37
celkem	99,95	99,84	99,98	99,94	99,85	99,96

UGK-1-A, UGK-2-A, UGK-3-A – krystal apatitu z apatit-kalcitového karbonatitu
UGK-1-N, UGK-2-N, UGK-3-N – krystal apatitu z nelsonitu
S – jádro krystalu, M – přechodová oblast mezi jádrem a okrajem, R – okraj krystalu

velmi odlišné od teoretického vzorce apatitu $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$. Deficitní je především obsah Ca (běžně o 10 %), méně je i P a naopak mimořádně vysoký je obsah REE, Sr a částečně i Si a S. Apatity vykazují variace chemického složení od centrálních zón apatitu s poměrně vysokým obsahem REE, Sr, Si a S na straně jedné a okrajové zóny s nižšími obsahy těchto prvků na straně druhé.

Koncentrace SrO v apatitech jsou velmi vyrovnané, a to od ca 2,4 hmot. % SrO v centrálních jádrových zónách apatitů až po ca 1,7 hmot. % SrO v okrajových partiích apatitů.

Obsahy REE plynule klesají od jádra (až 9 hmot. % $LREE_2O_3$) k okraji (okolo 6 hmot. % $LREE_2O_3$). HREE byly podobně jako Th, Mn či Fe pod detekčním limitem použité mikrosondy. Přítomnost zvýšeného množství SO_3 (i více než 4,5 hmot. % SO_3), SiO_2 (až 6,1 hmot. % SiO_2) a logicky nižší hodnoty P_2O_5 v apatitech jsou pro apatity karbonatitů a nelsonitů typické.

Závěr

Geochemicky atypické karbonatity a nelsonity byly nově lokalizovány v masivu Ulugei Khid v jižním Mongolsku. Tyto horniny jsou tvořeny zejména nesilikátovými minerálními asociacemi (kalcit-apatit-magnetit), ke kterým přistupují biotit/flogopit a akcesorické minerály. Oba exotické horninové typy nesou relativně důležité geochemické informace, a to zejména velmi vysoké obohacení o REE (LREE), pozitivní europiovou anomálii a pro karbonatity i nelsonity anomálně nízké obsahy Nb, Ta, Th a U. Obsahy těchto prvků jsou jednoznačně odrazem obsahu apatitu, který dosahuje v řadě karbonatitů 5–50 % a v případě nelsonitů až 90 obj. %. Nově objevené exotické karbonatity a nelsonity mají vzhledem k surovinové krizi na poli těžby REE a právě svému vysokému obohacení o LREE a Eu značný ložiskový potenciál.

Poděkování. Poděkování patří zejména RNDr. Petru Mixovi a recenzentům za odbornou pomoc a připomínky vedoucí ke zkvalitnění článku. Příspěvek byl podpořen grantem MSM6215648902.

Literatura

BADARCH, G. – CUNNINGHAM, W. D. – WINDLEY, B. F. (2002): A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. – J. Asian Earth Sci. 21, 87–110.

BASKYNA, V. A. – VOLČANSKAJA, I.K. – FRIXAR, D. I. – JARMOLJUK, V. V. (1976): Provincija kalievich ščeločno-osnovnych i ščeločnych vulkanitov južnoj Mongolii. – Izd. An. SSSR, Ser. Geologie, 10, 88–106. (v ruštině)

BOYNTON, W. V. (1984): Cosmochemistry of the rare earth elements: meteoritic studies.In: HENDERSON, P., ed.: Rare Earth Elements Geochemistry, 63–114. – Elsevier, Amsterdam.

KYNICKÝ, J. (2006): Karbonatity jižního Mongolska. Disert. práce, 181 s. – MS Lesn. dřev. fak. Mendel. univ. Brno.

KYNICKÝ, J. – CHAKHMOURADIAN, A. – KRMÍČKOVÁ, M. – KRMÍČEK, L. (2009): Zonální intruze masivu Ulugei Khid v Mongolsku, část I: Zpráva o novém průzkumu. In: KYNICKÝ, J. – SAMEC, P. – CIHLÁŘOVÁ, H. – BARTOŠOVÁ, R. – BRTNICKÝ, M.: Mongolia 2009, 114–121. – Mendel. univ. Brno. ISBN 978-80-7375-360-3.

KYNICKÝ, J. – KYNICKÁ, A. (2004): REE minerály masívu Ulugei Chid. In: SAMEC, P. – KYNICKÝ, J. – JAROŠ, O., ed.: Scientific exploration of Mongolia. Mendelova univerzita v Brně. Sbor. konference, 33–38. – Lesn. dřev. fak. Mendel. univ. Brno.

SAMOILOV, V. S. – KOVALENKO, V. I. (1983): Komplexy ščeločnych parod i karbonatitov Mongolii. – Nauka 35, 196 s. (v ruštině)