

Osumilit-(Mg), egy új hazai ásvány egy badacsonyi buchit xenolitból

Osumilite-(Mg) in a buchite xenolith from Badacsony — a new mineral in Hungary

TÖRÖK Kálmán¹

(3 ábra, 1 táblázat)

Tárgyszavak: osumilit-(Mg), buchit, Badacsony, xenolit

Keywords: osumilite-(Mg), buchite, Badacsony, xenolith

Abstract

This paper reports on the first finding in Hungary of osumilit-(Mg), an important high temperature mineral in Hungary. The osumilite-(Mg)-bearing buchite xenolith was found in the basalt quarry located north of Badacsonytördemic. The xenolith is macroscopically very similar to those described earlier from Szigliget (TÖRÖK 2002). It consists mainly of quartz with subordinate feldspars and magnetite. The xenolith is cut by abundant dark grey to black melt veins. Several mineral parageneses were observed in the melt veins of the xenolith during microscopy and scanning electron microscopy (clinopyroxene + plagioclase + magnetite ± orthopyroxene ± K-feldspar ± ternary feldspar, olivine + anorthite + magnetite, cordierite + K-feldspar ± orthopyroxene ± hercynitic spinel, and osumilite-(Mg) ± cordierite ± magnetite ± orthopyroxene). This study deals in detail only with the osumilite-(Mg)-bearing parageneses in detail.

The osumilite-(Mg) and the the osumilite-(Mg)-bearing parageneses were formed from a quartz-rich, muscovite-bearing assemblage which may have contained biotite under relatively oxidizing environment (within the stability field of magnetite) characterized with low water activity. Based on the mineral assemblages and the structure of the crust beneath the Balaton Highlands (SZAFIÁN et al. 1999) the xenolith originates from a maximum depth of about 15 km ($p < 400$ MPa) and underwent a heating of up to 950–1100 °C.

Összefoglalás

A tanulmány egy fontos, nagy hőmérsékletet jelző ásvány, az osumilit-(Mg) első magyarországi előfordulását dokumentálja. A korábban Szigligetről leírt buchitzárványokhoz (TÖRÖK 2002) makroszkóposan igen hasonló xenolit a Badacsonytördemictől északra levő köfeytől került elő. A xenolit túlnyomórészt kvarcból áll, alárendelten tartalmaz földpátokat és magnetitet. A zárványt számos sötétszürke-fekete közetüvegér szeli át. Vékonycsiszolat, valamint pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálata során a xenolitot átszelő olvadékerekben többféle ásványegyüttest figyeltem meg (klinopiroxén + plagioklász + magnetit ± ortopiroxén ± káliföldpát ± terner földpát, olivin + anortit + magnetit, cordierit + káliföldpát ± ortopiroxén ± hercynit, illetve osumilit-(Mg) ± cordierit ± magnetit ± ortopiroxén), melyek közül ebben a munkában a Magyarországról eddig még le nem írt osumilit-(Mg)-t is tartalmazó ásványegyütteseket részleteztem.

Az irodalmi adatokkal összhangban az osumilit-(Mg) és az azt kísérő ásványok egy kvarcban gazdag, muszkovitot és valószínűleg biotitot tartalmazó paragenézis megolvadásával jöttek létre viszonylag oxidatív (a magnetit stabilitási mezijén belül) és alacsony vízáktivással jellemezhető környezetben. A xenolit származási mélysége az ásványegyüttesek és a kéreg felépítése alapján (SZAFIÁN et al. 1999) megadott maximális 400 MPa maximális nyomás alapján legfeljebb 15 km lehet, ásványegyüttese 950–1100 °C hőmérsékleten alakultak ki.

¹Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest Kolumbusz u. 17–23.
e-mail: torokk@elgi.hu

Bevezetés

Az osumilit-(Mg) a milarit csoport tagja, melybe dupla hatos gyűrűs felépítésű ritka cikloszilikátok tartoznak. A csoport általános képlete: $CA_2B_2DT(2)_3T(1)_{12}O_{30} \cdot 0-2 H_2O$ (FORBES et al. 1972). A D és a B pozíciók az osumilit-(Mg)-ben nincsenek betöltve, ennek megfelelően a képlete: $(K, Na)(Mg, Fe^{2+})_2(Al, Fe^{3+})_3(Si, Al)_{12}O_{30}$. Az ásványt Osumi provinciából Kyushuból, Japánból MIYASHIRO (1956) írta le először. Azóta a világ számos pontjáról leírták különböző magmás és metamorf kőzetekben.

Az irodalmi adatok alapján az osumilit többféle keletkezése ismert:

1. Változatos összetételű magmás kiömlési kőzetek (riolit, trachit, dácit, ultrakáli kőzetek) mátrixában, vagy fenn-nőtt formában az üregekben (pl. SCHREYER et al. 1983; PARODI et al. 1989; CARLIER et al. 1994). A kiömlési kőzetek mátrixában a szilikátolvadékból kristályosodik, vagy magmakeveredés során Mg-gazdag biotit (flogopit) reakciójából képződik hipersztén és hercynites spinell társaságában (pl. CARLIER et al. 1994).

2. Bázisos magmás kőzetek nagy hőmérsékletű kontaktusán, illetve részleges olvadást szenvedett buchit xenolitjaiban (pl. BERG & WHEELER 1976; ARIMA & GOWER 1991; SCHREYER et al. 1983, 1986). Az előbbi esetben ortopiroxénnel, cordierittel, plagioklással, kálicföldpáttal, esetenként gránáttal társul. Buchitokban általában cordierittel, spinell-lel (hercynit-spinell összetételű), mullittal, tridimittel, cristobalittal együtt található.

3. Nagy hőmérsékletű, illetve igen nagy hőmérsékletű kis és közepes nyomású metapelites granulitok indexásványaként gránáttal, cordierittel, ortopiroxénnel, sillimanittal, zafirinnel, spinell-lel, kálicföldpáttal alkothat stabil ásványegyüttest (pl. GREW 1982; HARLEY 1986; HOLLAND et al. 1996; DAS et al. 2001).

Magyarországon osumilitet KOCH (1985) említ a tarpai Nagy-hegy dácitjának repedéseiből, illetve az agglomerátumból epidottal társulva. A tarpai osumilit mikrosondás újrvizsgálata alapján azonban kiderült, hogy az ásványt inkább roedderitnek nevezhetjük (FEHÉR & SZAKÁLL 2002). A roedderit ugyanúgy a milaritcsoportba tartozik, csak kémiai összetételében $[(Na, K)_2(Mg, Fe^{2+})_5Si_{12}O_{30}]$ különbözik az osumilittől, azaz több alkáliát tartalmaz, valamint nincs benne Al és Fe^{3+} .

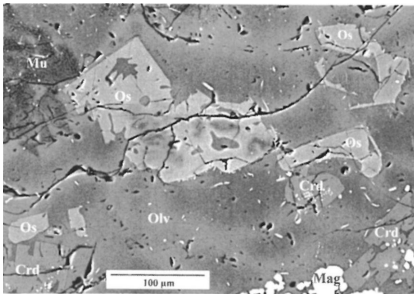
A Balaton-felvidéki bazaltokból származó világos, kvarcban gazdag, igen nagy hőmérsékletű kontakt metamorfózist szenvedett xenolitok (ún. buchitok) vizsgálata során került a kezembe egy badacsonyi xenolit, melynek pásztázó elektronmikroszkópos, illetve elektronmikroszondás (EDS) vizsgálata során több más ásvánnyal együtt, osumilit-(Mg)-t határoztam meg. E közlemény célja, hogy a buchitban előforduló osumilit-(Mg) kémiai összetételének, ásványparagenezisének, képződési körülményeinek bemutatásával egy ritka, de fontos indexásvány első magyarországi előfordulását dokumentáljam.

Mintaleírás

A minta a Badacsony Ny-i oldaláról származik, a Badacsonytördemictől északra levő kőfejtőből. A xenolit makroszkóposan kb. 8–10 cm-es hosszúságú, szabálytalan alakú, fehér színű, szerteágazó sötétszürke-fekete erekkel szabdaltnak, repedezett kőzet.

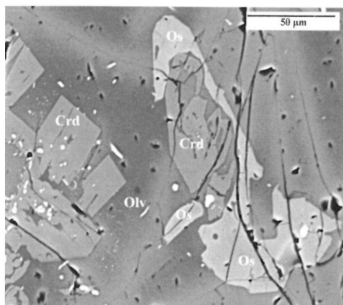
A fehér színű részek kristályosak, szemcséi szabad szemmel elkülöníthetők. A sötétszürke-fekete színű erek üvegszerűek, bennük szabad szemmel nem fedezhetők fel szemcsék. Mikroszkópi vizsgálatok szerint a fehér részeket túlnyomórészt kvarc alkotja, nagyon ritkán egy-egy plagioklással, vagy káliföldpáttal. A sötét erek anyaga izotróp kőzetüveg, melyben lekerekített, repedezett, többé-kevésbé megolvadt kvarcot, magnetitet, klinopiroxént, ortopiroxént és nagyon apró meghatározhatatlan ásványokat találtam. Az erekben helyenként feltűnő a magnetit dúsulása. A xenolit nagyon finom szemcsés anyagának vizsgálatahoz EDX detektorral felszerelt pásztázó elektronmikroszkópot használtam. A vizsgálatok során többféle ásványegyüttesre bukkantam. A xenolit szélén klinopiroxén + plagioklász + magnetit ± ortopiroxén ± káliföldpát ± terner földpát, olivin + anortit + magnetit, illetve cordierit + káliföldpát ± ortopiroxén ± hercynit együttest határoztam meg. Ez

utóbbi esetében az ortopiroxén és a hercynit mennyisége alárendelt, a cordieritben és a káliföldpátban találhatóak elszórtan zárványként. A xenolit belsőjében lévő egyes olvadékos erekben találhatóak az osumilit-(Mg)-t és/vagy cordieritet tartalmazó ásványegyüttesek. Itt az osumilit-(Mg) előfordulhat xenomorf, hipidiomorf szemcsékként magányosan az olvadékban, vagy cordierittel, magnetittel, ortopiroxénnel, esetenként kvarccal alkotó ásványegyütteseket (1., 2. ábra). A cordierit szintén előfordulhat magányosan, illetve magnetittel, ortopiroxénnel, ritkábban újonnan kristályosodott túszerű, megnyúlt kvarccal. Az osumilit-(Mg)-t és cordieritet tartalmazó ásványegyüttesek jellemzően szétesett, muszkovitra emlékeztető pszeudo-



1. ábra. Osumilit-(Mg) (Os), cordierit (Crd), magnetit (Mag) és muszkovit reliktum (Mu) kőzetüvegben (Olv) a badacsonyi buchitből. Visszaszórt elektronkép

Fig. 1. Osumilite-(Mg) (Os), cordierite (Crd) magnetite (Mag) and relic muscovite (Mu) in silicate glass (Olv) from the buchite xenolith of Badacsony. Backscattered electron image



2. ábra. Osumilit-(Mg) (Os), cordierit (Crd) és magnetit (fehér szemcsék), kőzetüvegben (Olv) a badacsonyi buchitből. Visszaszórt elektronkép

Fig. 2. Osumilite-(Mg) (Os), cordierite (Crd) and magnetite (white grains) in silicate glass (Olv) from the buchite xenolith of Badacsony. Backscattered electron image

morfózák közelében található, esetenként azok maradványait zárványként magukban foglalják. Az osumilit-(Mg)-s, cordierites ásványegyüttesek mellett ortopiroxén, magnetit, kvarc együttese is megfigyelhető.

Az osumilit-(Mg) kémiai összetétele

Az osumilit-(Mg)-szemcsékből EDX detektorral felszerelt AMRAY 1810I pásztázó elektronmikroszkóppal készítettem elemzéseket az ELTE Kőzettani és Geokémiai

I. táblázat. A badacsonyi buchit xenolitban mért osumilit-(Mg) kémiai összetétele tömegszázalékban. A kationszámolásokat 30 oxigénre végeztem

Table 1. Chemical composition of osumilite-(Mg) (in wt%) from the buchite of Badacsony. Cation numbers are based on 30 oxygens

	1.	2.	3.	4.	5.
Na ₂ O	0,35	0,36	0,31	0,38	1,51
MgO	6,99	7,25	6,88	7,63	8,27
Al ₂ O ₃	24,65	24,02	24,29	19,5	16,24
SiO ₂	59,78	60,16	60,13	61,54	65,87
K ₂ O	4,19	4,19	4,18	4,23	2,94
FeO	3,74	3,71	3,57	6,34	4,97
összes	99,71	99,68	99,36	99,64	99,84
Na	0,11	0,12	0,1	0,13	0,49
Mg	1,74	1,8	1,71	1,92	2,05
Al	4,85	4,72	4,79	3,89	3,19
Si	9,98	10,04	10,06	10,41	10,96
K	0,89	0,89	0,89	0,91	0,62
Fe	0,52	0,52	0,50	0,90	0,69
összes kation	18,10	18,10	18,05	18,16	17,99
mg#	0,77	0,78	0,77	0,68	0,75
Si	9,98	10,04	10,06	10,41	10,96
AlIV	2,02	1,96	1,94	1,59	1,04
sum T	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
AlVI	2,83	2,76	2,85	2,3	2,15
Fe ³⁺	0,17	0,24	0,15	0,7	0,69
Mg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,16
sum Z	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Fe ²⁺	0,35	0,28	0,35	0,2	0,0
Mg	1,74	1,8	1,71	1,92	1,89
sum Y	2,09	2,08	2,06	2,12	1,89
Na	0,11	0,12	0,1	0,13	0,49
K	0,89	0,89	0,89	0,91	0,62
sum X	1,0	1,01	0,99	1,04	1,11
sumcat	18,1	18,1	18,05	18,16	17,99

FeO* = összes vas FeO-ként mérve.
FeO* = all iron as FeO.

Tanszéken. Standardként természetes kaersutitot használtam. Az ásványösszetételek számolásakor ZAF korrekciót alkalmaztam. Az adatok alapján az elemzett osumiliték a Mg-domináns osumilit ásványfajhoz állnak közel, tehát osumilit-(Mg)-nek nevezhetők. Némelyik elemzés (*I. táblázat, 4., 5. oszlop*) azt mutatja, hogy az osumilithez egy kevés roedderit-komponens is keveredhet. Ezekben az ásványokban az alkáliák és a szilícium mennyisége egy kicsit nagyobb, az alumínium pedig kevesebb.

Az osumilit-(Mg) képződési körülményei

Az irodalmi adatok alapján az osumilitfélék egyes savanyú magmás kőzetekben, valamint nagy hőmérsékletű (800–850 °C felett), kis és közepes nyomású (kb. 1100 MPa-ig) granulitokban fordul elő jellemzően kis vízakaktivitás mellett (HARLEY & THOMPSON 2005). A granulitokban jellemzően nagy Mg-tartalom esetén ($X_{Mg} > 0,6$; CARRINGTON & HARLEY 1995) található. Általában biotitot és/vagy cordieritet tartalmazó ásványegyüttes progresszív metamorfózisával képződik. OLESCH & SEIFERT (1981) kísérleteivel kimutatta, hogy vízben gazdag környezetben az osumilit stabilitási mezeje

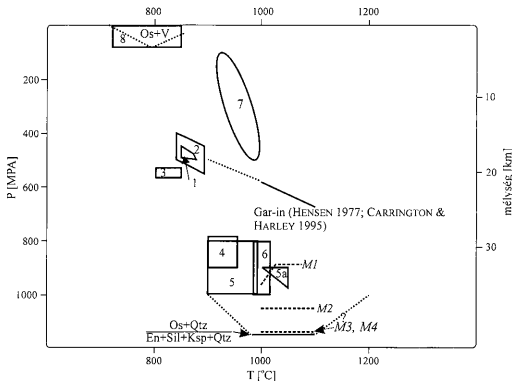
nagyon szűk ($p < 80$ MPa, $T = 765\text{--}800$ (830) °C). További kísérleti munkák (pl. HENSEN 1977; AUDIBERT et al. 1995; CARRINGTON & HARLEY 1995) azt mutatják, hogy csökkenő vízakktivitás mellett az osumilit stabilitási mezeje jelentősen kitágul a P–T mezőben.

Az osumilit felső nyomáskorlátját MOTOYOSHI et al. (1993) határozta meg (kb. 1150 MPa 975 és 1100 °C között) a KMAS-rendszerben végzett kísérletei alapján (3. ábra). Ennél nagyobb nyomáson az osumilit + kvarc szétesik és enzstatit, sillimanit, kálicföldpát valamint kvarc keletkezik. Az enzstatit + sillimanit, illetve még nagyobb nyomáson az enzstatit + kianit a nagy hőmérsékletű, nagy nyomású metapelites granulitok jellegzetes ásványtársulása. Hasonló eredményekre jutott AUDIBERT et al. (1995) is. Nevezett szerzők különböző KFMAS kiinduló összetételeket használtak ($mg\# = 65,6\text{--}89,7$). A két legnagyobb $mg\#$ -ú sorozat ($mg\# = 81,6\text{--}89,7$) felső nyomáskorlátja 1110 és 1200 MPa között volt, azaz nem különbözött jelentősen a tiszta KMAS-rendszerétől. A kisebb $mg\#$ -mal jellemezhető mintákban az osumilit stabilitási mezeje ennél kissé alacsonyabb (3. ábra), azaz a $mg\#$ csökkenése a felső nyomáskorlát csökkenését vonja maga után. CARRINGTON & HARLEY (1995) az osumilit felső nyomáskorlátját egy kicsit alacsonyabbnak gondolják, szerintük az nem haladja meg a 1070 MPa-t. SCHREYER et al. (1983) az irodalomban fellelhető osumilit-összetételei adatokat keletkezésük szerint csoportosítva arra a megállapításra jutott, hogy a nagy $mg\#$ -értékkel rendelkező osumilitek egyaránt előfordulhatnak nagyobb nyomású granulitokban és a felszínhez közeli nagy – igen nagy hőmérsékletű környezetekben, addig a vasban gazdagabb példányok képződése csak a kisebb nyomású, felszínhez közeli régiókhoz köthető. Az idézett kísérleti munkákból kitűnik, hogy az osumilit önmagában nem igazán jó nyomásindikátor. A vizsgált xenolitban talált osumilitek magnéziumban viszonylag gazdagok, $mg\#$ -uk belesik az AUDIBERT et al. (1995) által vizsgált intervallumba, azaz stabilitási mezeje tág nyomáshatárok közé esik. A xenolit képződési nyomásának szűkebb korlátok közé szorításához meg kell vizsgálnunk az ásványegyüttes egészét. Ha azonban az osumilit, illetve az osumilitet tartalmazó ásványegyüttesek stabilitását tárgyaló petrogenetikai hálókat nézzük, problémákba ütközünk, mert kiderül, hogy azok mind csak a nagyobb nyomástartományokat ($p > 500$ MPa) tekintik. A buchtok viszont ennél tipikusan alacsonyabb nyomáson keletkeznek (lásd pl. GRAPES 1986; TÖRÖK 2002).

A következőkben áttekintjük azokat az ásványegyütteseket, illetve kísérleti munkákat, melyek segítségével a xenolitunkban talált osumilites ásványegyüttes képződési nyomását kicsit jobban behatárolhatjuk. A fent nevezett szerzők által megállapított felső nyomáskorlát szűkítését jelenti DAS et al. (2001) kísérleti munkája. Nevezett szerzők az osumilit + spinell stabilitási mezejét vizsgálva arra a következtetésre jutottak, hogy az osumilit + magnetit együttes stabilitási mezeje 700 MPa nyomás alatt van.

A felső nyomáskorlát szűkítésének további lehetőségét a gránátot tartalmazó, illetve gránátmentes osumilites ásványegyüttesek összehasonlítása kínálja számunkra.

HENSEN (1977) kísérletei szerint a cordierit, hipersztén, osumilit együttes viszonylag alacsony nyomáson (590–670 MPa alatt) stabil 1000–1100 °C hőmérsékleten (3. ábra). Ennél nagyobb nyomáson már gránát is képződik.



1. Osumilit-ortopiroxén-cordierit együttes stabilitási mezeje a Naini Komplexumból, Kanada (BERG & WHEELER 1976), CARRINGTON & HARLEY (1995) szerint újraértékelve.
2. Az osumilit-cordierit-ortopiroxén-kálföldpát-kvarc ásványegyüttes képződési P-T körülményei hercynit-kvarc granulitban, Namaqualand, WATERS (1991) szerint.
3. Ortopiroxén-osumilit együttes, Rogaland, JANSEN et al. (1985) adatait HOLLAND et al. (1996) számolta át.
4. Gránátmentes osumilites együttesek képződési körülményei a Sand Hill Big Pond gabbrónórít-intrúziójának kontakt udvarából, Kelet-Labradorról, Kanada, ARIMA & GOWER (1991) alapján CARRINGTON & HARLEY (1995) által reinterpretált adat.
5. Osumilit-zafirín-kvarc-granulitok képződési P-T körülményei, Enderby Land, Antarktisz (ELLIS 1980).
- 5a. Az előző P-T mező reinterpretációja CARRINGTON & HARLEY (1995) szerint.
6. Osumilit- és zafirintartalmú granulitok P-T mezeje Kelet-Ghatsi övezet, India, BHATTACHARYA & KAR (2002) szerint.
7. Magmás osumilit (CARLIER et al. 1994).
8. Az osumilit képződési körülményei egy kálföldpát-flogopit-hercynit-Ti-magnetit xenolit üregeiben hematit és pseudobrookittal, PARODI et al. (1989) szerint.

Fig. 3. Stability relations of osumilite and osumilite-bearing assemblages according to literature data

Dotted line, $Os+V$ = stability of osumilite in a water saturated system (OLESCH & SEIFERT 1981).

$Os + Qtz = En + Sil + Ksp + Qtz$ reaction, the upper stability limit of osumilite according to MOTOYOSHI et al. (1993) (V - vapor, Os - osumilite, Qtz - quartz, En - enstatite, Sil - sillimanite, Ksp - K-feldspar).

Gar „be” = garnet in according to HENSEN (1977).

Broken lines = the upper pressure limit of osumilite stability in metapelites with different magnesium content (AUDIBERT et al. 1995).

M1: $X_{Mg} = 65.6$; M2: $X_{Mg} = 73.5$; M3, M4: $X_{Mg} = 81.6$ and 89.7 .

1. Stability field of osumilite-orthopyroxene-cordierite assemblage from the Nain Complex, Canada (BERG & WHEELER 1976), recalculated by CARRINGTON & HARLEY (1995).
2. P-T conditions of formation of osumilite-cordierite-orthopyroxene-K-feldspar-quartz assemblage in a hercynite-quartz granulite from Namaqualand, according to WATERS (1991).
3. Orthopyroxene-osumilite assemblage, Rogaland, data of JANSEN et al. (1985) were recalculated by HOLLAND et al. (1996).
4. Conditions of formation of garnet-free osumilite-bearing assemblages from the contact zone of the Sand Hill Big Pond gabbronorite intrusion East-Labrador, Canada Data of ARIMA & GOWER (1991) reinterpreted by CARRINGTON & HARLEY (1995).
5. P-T conditions of formation of osumilite-zaphirine-quartz granulites, Enderby Land, Antarctica (ELLIS 1980).
- 5a. Reinterpretation of the previous field by CARRINGTON & HARLEY (1995).
6. P-T field of osumilite- and zaphirine-bearing granulites, Eastern Ghats Belt, India, according to BHATTACHARYA & KAR (2002).
7. Magmatic osumilite, according to CARLIER et al. (1994).
8. Conditions of formation of osumilite in association with hematite and pseudobrookite in veins of a K-feldspar-phlogopite-Ti-magnetite xenolith, according to PARODI et al. (1989).

A kísérleti eredmények mellett érdemes megvizsgálni néhányat a természetes előfordulások közül is és azokat összevetni a kísérleti adatokkal. BERG & WHEELER (1976) osumilitet talált a labradori Naini Anortozit Komplexum kontaktusán granulitban. Az osumilittel kvarc, hipersztén, ortoklász, cordierit, plagioklász társul.

3. ábra. Az osumilit és az osumilites ásványegyüttesek stabilitási viszonyai irodalmi adatok alapján

Pontozott vonal, $Os+V$ = az osumilit stabilitása víztelített rendszerben (OLESCH & SEIFERT 1981);

$Os + Qtz = En + Sil + Ksp + Qtz$ reakció, az osumilit felső nyomáskorlátja MOTOYOSHI et al. (1993) szerint. (V - vízgőz, Os - osumilit, Qtz - kvarc, En - enstatit, Sil - sillimanit, Ksp - kálföldpát).

Gar „be” = gránát belépése, HENSEN (1977) alapján.

Szaggatott vonalak = az osumilit felső nyomáskorlátja, különböző magnéziumtartalmú kiinduló kőzetekben AUDIBERT et al. (1995) szerint.

M1: $X_{Mg} = 65,6$; M2: $X_{Mg} = 73,5$; M3, M4: $X_{Mg} = 81,6$ és $89,7$.

Ritkán a gránát is megjelenhet az ásványegyüttesben. A képződési körülményeket a szerzők a környező kőzetek alapján határozták meg ($p = 500$ MPa, $T = 700\text{--}900$ °C). CARRINGTON & HARLEY (1995) kísérleti munkája alapján a hőmérsékleti intervallumot szűkítette hasonló nyomást feltételezve ($p = 450\text{--}500$ MPa, $T = 850\text{--}880$ °C). Érdeemes megjegyezni, hogy nevezett szerzők szerint egy kicsit nagyobb nyomáson már a gránát is stabil lenne azaz, HENSEN & GREEN (1972) adataival megegyezően azt gondolják, hogy a gránát ilyen kőzetösszetételei feltételek mellett ($X_{Mg} = 0,74$) 900 °C hőmérsékleten kb. 500 MPa felett stabil. CARRINGTON & HARLEY (1995) arra is rámutatnak, hogy alacsonyabb X_{Mg} mellett a gránát stabilitási mezeje kiszélesedik a kisebb nyomástartományok felé, tehát a gránát esetenkénti megjelenése a kőzet magnéziumtartalmának helyi változásaitól is függhet.

WATERS (1991) szintén leírt gránátmentes osumilit, cordierit, ortopiroxén, kálföldpát, kvarc együttest Dél-Afrikából (Namaqualand) hercynit-kvarc-tartalmú granulitokból. Az együttes képződési körülményeit $400\text{--}500$ MPa-ra és $830\text{--}890$ °C-ra becsülte. Ebben az esetben is előfordulnak szórványosan gránátot tartalmazó ásványegyüttesek.

Hasonló gránátmentes osumilit-ortopiroxén ásványegyüttest írt le JANSEN et al. (1985) az Egersund–Ogna anortozitkomplexum kontakt zónájából, Rogalandról, Dél-Norvégiából. A P–T körülményeket kb. 400 MPa-ra tette $750\text{--}1050$ °C-on. HOLLAND et al. (1996) termodinamikai alapú reinterpretációjában kissé magasabb nyomást (kb. 550 MPa) tartott valószínűnek és a hőmérsékletet is szűkebb korlátok közé tette ($800\text{--}850$ °C).

További gránátmentes osumilites ásványegyütteseket (osumilit-zafirin-cordierit, osumilit-cordierit-sillimanit-kvarc, osumilit-cordierit-kálföldpát-kvarc, osumilit-cordierit-ortopiroxén-kvarc és osumilit-ortopiroxén-kálföldpát-kvarc) írt le ARIMA & GOWER (1991) a Sand Hill Big Pond gabbrónorit-intrúzió kontakt udvarából, Kelet-Labradorról, Kanadából. Az itt becsült nyomásértékek jelentősen magasabbak a fentebb említetteknél. Nevezett szerzők $700\text{--}810$ MPa nyomást publikáltak $850\text{--}950$ °C hőmérséklet mellett. CARRINGTON & HARLEY (1995) kísérleti adatainak fényében $780\text{--}900$ MPa nyomást és $900\text{--}950$ °C hőmérsékletet javasolt, a gránát hiányát pedig a kőzet nagy Mg-tartalmával indokolta ($0,74 < X_{Mg} < 0,88$).

A teljesség érdekében a fenti paragenezisek képződési körülményei mellett a 3. ábrán feltüntettem egyes, a bevezetőben leírt osumilit-előfordulások képződésének P–T körülményeit. A nagy magnéziumtartalmú, igen nagy hőmérsékletű granulitokban előforduló osumilit képződése a kísérletileg meghatározott felső nyomáskorláthoz esik közel (pl. ELLIS 1980; BHATTACHARYA & KAR 2002) (3. ábra). A magmás osumilitokról kevés a konkrét P–T becslés, (PARODI et al. 1989; CARLIER et al. 1994) és ezek értelemszerűen a kisebb nyomású tartományban helyezkednek el. Referenciaként ezeket is feltüntettem a 3. ábrán.

A hőmérsékleti korlátok meghatározása

A kísérleti munkák és a petrogenetikai hálók azt mutatják, hogy az osumilit kb. $800\text{--}850$ °C felett stabil (pl. HOLLAND et al. 1996, CARRINGTON & HARLEY 1995), míg az

osumilit + ortopiroxén együttes egy kicsit magasabb hőmérsékleten, kb. 850 °C felett lép be (DAS et al. 2003). Az osumilit kis és közepes nyomáson egészen 1100 °C feletti hőmérsékletekig (HENSEN 1977) stabil maradhat. Nagyobb nyomáson (800–1100 MPa), az osumilit 1020–1080 °C között elbomlik (HENSEN 1977; CARRINGTON & HARLEY 1995). AUDIBERT et al. (1995) kísérletei szerint a nagyobb magnéziumtartalmú mintákban egészen 1110 MPa-ig 1100 °C-on is megjelent az osumilit.

Az osumilit mellett a xenolitban előforduló cordierit-ortopiroxén-kálicsillárpát együttes minimális képződési hőmérséklete 900 °C, 50 MPa nyomáson, a cordierit-ortopiroxén együttesé pedig 950 °C, 100 MPa nyomáson (OLESCH & SEIFERT 1981). Tehát az osumilites, valamint az osumilitmentes kísérő ásványegyüttesek hőmérsékleti stabilitását figyelembe véve, a xenolit 950–1100 °C hőmérsékletre fűtődött fel (3. ábra).

Összehasonlítás a szigligeti buchitokkal

A badacsonyi buchit xenolit ásványos összetétele jelentősen különbözik a Szigligetről korábban leírttól (TÖRÖK 2002). Ez utóbbi mullitot, korundot, Al-gazdag ortopiroxént és hercynites spinellt tartalmaz. A jelentős ásványtani különbségek nem a kiinduló paragenézis különbözőségét mutatják, hanem inkább az olvadék víztelítettségében mutatkozó különbségeket tükrözik. Az irodalmi adatok szerint az osumilit kizárólag alacsony vízaktivitással jellemezhető környezetekben fordul elő, míg a szigligeti xenolitokban nagyon gyakran vízben túltelített olvadékkal találkozhatunk. Ezt bizonyítják a szigligeti xenolitok olvadékereiben gyakran előforduló alacsony szalinitású vizet tartalmazó folyadékzárványok (TÖRÖK & BALI 2003).

Következtetések

A Badacsonyról előkerült buchit xenolit egy Magyarországról még eddig le nem írt ásványt, osumilit-(Mg)-t tartalmaz. Az osumilit-(Mg) mellett cordierit, ortopiroxén és magnetit a leggyakoribb ásványok.

Az osumilit-(Mg) és az azt kísérő ásványok egy kvarcban gazdag, muszkovitot és valamilyen mafikus ásványt (a kísérleti analógiák alapján valószínűleg biotitot) tartalmazó paragenézis megolvadásával jöttek létre 850 °C feletti hőmérsékleten, viszonylag oxidatív (magnetit stabilitási mezéjén belül) és alacsony vízaktivitással jellemezhető környezetben. A muszkovit egykori jelenlétére pseudomorfózák utalnak az olvadékban.

A xenolit maximális származási mélysége az ásványegyüttesek alapján megadott maximális 500–600 MPa nyomás alapján 18–20 km lehet, ásványegyüttese 950–1100 °C hőmérsékleten alakultak ki. A korábban publikált (TÖRÖK 2002) szigligeti buchit xenolitok analógiája alapján, valamint geofizikai mérésekkel meghatározott kéregszerkezet alapján (SZAFIÁN et al. 1999) a származási mélység ennél valószínűleg kisebb lehet (maximálisan 15 km).

Köszönetnyilvánítás

A cikk az OTKA és a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai ösztöndíja, valamint az OTKA K61182 sz. szerződése által támogatott kutatás keretében született. Köszönet illeti a lektorokat, SZAKÁLL Sándort és FEHÉR Bélát, akik felhívták a figyelmemet a hiányosságokra, valamint BÁN Balázst, aki a xenolitot gyűjtötte és rendelkezésemre bocsátotta.

Irodalomjegyzék — References

- ARIMA, M. & GOWER, C. F. 1991: Osumilite-bearing granulites in the Eastern Grenville Province, Eastern Labrador, Canada: mineral parageneses and metamorphic conditions. — *Journal of Petrology* **32**, 29–61.
- AUDIBERT N., HENSEN, B. J. & BERTRAND, P. 1995: Experimental study of phase relations involving osumilite in the system K_2O -FeO-MgO- Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O at high pressure and temperature. — *Journal of Metamorphic Geology* **13**, 331–344.
- BERG, J. H. & WHEELER, E. P. 1976: Osumilite of deep-seated origin in the contact aureole of the anorthositic Nain Complex, Labrador. — *American Mineralogist* **61**, 29–37.
- BHATTACHARYA, S. & KAR R. 2002: High-temperature dehydration melting and decompressive P-T path in a granulite complex from the Eastern Ghats, India. — *Contributions to Mineralogy and Petrology* **143/2**, 175–191.
- CARLIER, G., LORAND, J.-P. & KIENAST, J.-R. 1994: Magmatic osumilite in an ultrapotassic dyke, southern Peru: first occurrence. — *European Journal of Mineralogy* **6**, 657–665.
- CARRINGTON D. P. & HARLEY, S. L. 1995: Partial melting and phase relations in high-grade metapelites: an experimental petrogenetic grid in the KFMASH system. — *Contributions to Mineralogy and Petrology* **120**, 270–291.
- DAS, K., DASGUPTA, S. & MIURA, H. 2001: Stability of osumilite coexisting with spinel solid solution in metapelitic granulites at high oxygen fugacity. — *American Mineralogist* **86**, 1423–1434.
- DAS, K., DASGUPTA, S. & MIURA, H. 2003: An experimentally constrained petrogenetic grid in the silica saturated portion of the system KFMASH at high temperatures and pressures. — *Journal of Petrology* **44/6**, 1055–1075.
- ELLIS, D. J. 1980: Osumilite-sapphirine-quartz granulites from Enderby Land, Antarctica: P-T conditions of metamorphism, implications for garnet-cordierite equilibria and the evolution of the deep crust. — *Contributions to Mineralogy and Petrology* **74**, 201–210.
- FEHÉR, B. & SZAKÁLL, S. 2002: Roedderite(?) from the Nagy Hill, Tarpa, NE Hungary: a problem with the classification based on electron microprobe analyses in the roedderite-merrihueite subgroup of the milarite group. — 18th General Meeting of the IMA, Programme with Abstracts, p. 141.
- FORBES, W. C., BAUR, W. & KAHN, A. A. 1972: Crystal chemistry of milarite-type minerals. — *American Mineralogist* **57**, 463–472.
- GRAPES, R. H. 1986: Melting and thermal reconstitution of pelitic Xenoliths, Wehr volcano, East Eifel, West Germany. — *Journal of Petrology* **27/2**, 343–396.
- GREW, E. S. 1982: Osumilite in the sapphirine-quartz terrane of Enderby Land, Antarctica: implications for osumilite petrogenesis in the granulite facies. — *American Mineralogist* **67**, 762–787.
- HARLEY, S. L. 1986: A sapphirine-cordierite-garnet-sillimanite granulite from Enderby Land, Antarctica: implications for FMAS petrogenetic grids in the granulite facies. — *Contributions to Mineralogy and Petrology* **94**, 452–460.
- HARLEY, S. L. & THOMPSON, P. 2005: The influence of cordierite on melting and mineral-melt equilibria in ultra-high-temperature metamorphism. — *Transactions: Earth Sciences* **95**, 87–98.
- HENSEN, B. J. 1977: The stability of osumilite in high grade metamorphic rocks. — *Contributions to Mineralogy and Petrology* **64**, 197–204.
- HENSEN, B. J. & GREEN, D. H. 1972: Experimental study of the stability of cordierite and garnet in pelitic compositions at high pressures and temperatures. II. Compositions without excess alumino-silicate. — *Contributions to Mineralogy and Petrology* **33**, 309–330.

- HOLLAND, T. B. J., BABU, E. V. S. S. K. & WATERS, D. J. 1996: Phase relations of osumilite and dehydration melting in pelitic rocks: a simple thermodynamic model in the KFMASH system. — *Contributions to Mineralogy and Petrology* **124**, 383–394.
- JANSEN, J. B. H., BLOK, R. J. P. & SCHEELINGS, M. 1985: Geothermobarometry and geobarometry in Rogaland and preliminary results from the Bamble area, S Norway. — In: TOBI, A. C. & TOURET, J. L. R. (eds): *The deep proterozoic crust in the north Atlantic provinces*. D. Reidel Publishing Company, Amsterdam, 499–516.
- KOCH, S. 1985: Magyarország ásványai. 2. átdolgozott kiadás. — Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 562.
- MIYASHIRO, A. 1956: Osumilite, a new silicate mineral and its crystal structure. — *American Mineralogist* **41**, 104–116.
- MOTOYOSHI, Y., HENSEN, B. J. & ARIMA, M. 1993: Experimental study of the high pressure stability limit of osumilite in the system K_2O -MgO- Al_2O_3 - SiO_2 : implications for high-temperature granulites. — *European Journal of Mineralogy* **5**, 439–445.
- OLESCH, M. & SEIFERT, F. 1981: The restricted stability of osumilite under hydrous conditions in the system K_2O -MgO- Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O . — *Contributions to Mineralogy and Petrology* **76**, 362–367.
- PARODI, G. C., VENTURA, G. D. & LORAND, J.-P. 1989: Mineralogy and petrology of an unusual osumilite + vanadium-rich pseudobrookite assemblage in an ejectum from the Vico Volcanic Complex (Latium, Italy). — *American Mineralogist* **74**, 1278–1284.
- SCHREYER, W., BLÜMEL, P. & MARESCH, W. 1986: Cordierit und Osumilit aus den Buchiten der Blauen Kuppe bei Eschwege. — *Aufschluss* **37**, 353–367.
- SCHREYER, W., HENTSCHEL, G. & ABRAHAM, K. 1983: Osumilith in der Eifel und die Verwendung dieses Minerals als petrogenetischer Indikator. — *Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* **31**, 215–234.
- SZAFIÁN, P., TARI, G., HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. 1999: Crustal structure of the Alpine-Pannonian transition zone: a combined seismic and gravity study. — *International Journal of Earth Sciences* **88**, 98–110.
- TÖRÖK, K. 2002: Ultrahigh-temperature metamorphism of a buchitised xenolith from the basaltic tuff of Szigliget (Hungary). — *Acta Geologica Hungarica* **45/2**, 175–192.
- TÖRÖK, K. & BALI, E. 2003: Fluid inclusions in xenolith glass: Direct evidence for fluid overpressure under an explosive volcano (Szigliget, W-Hungary). — *Acta Mineralogica-Petrographica*, Abstract series, ECROFI XVII, Budapest, 2003. June 4–9, 218–219.
- WATERS, D. J. 1991: Hercynite-quartz granulites: phase relations, and implications for crustal processes. — *European Journal of Mineralogy* **3**, 367–386.

Kézirat beérkezett: 2006. 12. 05.