

Acta Geoscientia Debrecina

1. különszám – Special Issue 1

ÁTFOGÓ KUTATÁSOK A KABAI METEORITON
Comprehensive Research on the Kaba Meteorite

DEBRECENI EGYETEM, TTK, FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET
UNIVERSITY OF DEBRECEN, FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY,
INSTITUTE OF EARTH SCIENCES
4032 Debrecen, Egyetem tér 1., Hungary

ACTA Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina
Főszerkesztő – Editor-in-chief
SZABÓ József

ACTA Geoscientia Debrecina Series
Főszerkesztő – Editor-in-chief
RÓZSA Péter

Technikai szerkesztők – Technical editors
BUDAY Tamás, McINTOSH Richard William

Szerkesztő Bizottság – Editorial Board

DÁVID Árpád
*Mátra Museum,
Gyöngyös*

FÖLDVÁRI Mária
*Geological Institute of Hungary,
Budapest*

OJMAHMAD, Rahmanov
*University of Silesia,
Katowice, Poland*

DÁVID Lóránt
*Eszterházy Károly University,
Eger*

HARZHAUSER, Mathias
*Natural History Museum,
Vienna, Austria*

TÓTHNÉ Makk Ágnes
*Geological Institute of Hungary,
Budapest*

FÖLDESSY János
*University of Miskolc,
Miskolc*

KOZÁK Miklós
*University of Debrecen,
Debrecen*

VICZIÁN István
*University of Debrecen,
Debrecen*

Acta Geoscientia Debrecina

1. különszám – Special Issue 1

X 276300

ÁTFOGÓ KUTATÁSOK A KABAI METEORITON
Comprehensive Research on the Kaba Meteorite

A kabei meteorit hullásának 160.
évében rendezett nemzetközi
konferencia előadásai

*Publications presented at the international
conference held in the 160th anniversary
year of the fall of the Kaba meteorite*

2017. november 8.
Református Kollégium,
Debrecen

*8th November 2017
Reformed College,
Debrecen*

A kötet szerkesztői – editors:

NAGY Mihály – RÓZSA Péter – McINTOSH Richard William

Debreceni Egyetemi Kiadó – Debrecen University Press

2018

E különszám lektorai – Reviewers of this special issue

BÉRCZI Szaniszló, BUDAY Tamás, GUCSIK Arnold, GYOLLAI Ildikó, KOZÁK Miklós,
MCINTOSH Richard William, MURVAI Ervin, NAGY Mihály, RÓZSA Péter, Alan RUBIN,
SZABÓ István, John T. WASSON, Frances WESTALL

E különszám technikai szerkesztői – Technical editors of this special issue

FÁBIÁN Máté, MCINTOSHÉ BUDAY Andrea

A borítótérvet készítette – Cover design

LENTE István

A konferencián készült fotókat készítették - Photos at the conference were taken by

BODONOVICS István, BUDAY Tamás, MCINTOSH Richard William

E különszám támogatói – Sponsors of this special issue



Nemzeti Kulturális Alap

Kaba Város Önkormányzata

Tiszántúli Református Egyházkerület Levéltára

1. különszám – Special Issue 1

ISSN 1788-4497

ISBN 978-963-318-053-2



SZTE Klebelsberg Könyvtár



J001268633



Kiadja – Published by: Debrecen University Press
Felelős kiadó – Responsible publisher: Dr. VIRÁGOS Márta

X 27 63 00



Nyomdai munkálatok – Printed by: FÁBIÁN Bt. Nyomda
Felelős vezető – Responsible leader: FÁBIÁN Imre

2018

TARTALOMJEGYZÉK – TABLE OF CONTENTS

Előljáró szavak.....	7
<i>Opening remarks</i>	
A konferencia részletes programja	9
<i>Detailed programme of the conference</i>	
A Hittudományi Egyetem rektorának megnyitó beszéde.....	13
<i>Opening remarks of the rector of the Theological University</i>	
Kaba Város Polgármesterének köszöntője	15
<i>Thoughts of welcome from the Major of Kaba</i>	
Bevezetés az előadásokhoz	17
<i>Introductory remarks to the presentations</i>	
A délelőtti üléselnök bevezető gondolatai.....	19
<i>Introductory thoughts of the morning chair</i>	
 1. Felkért előadások – <i>Invited talks</i>	
Meteorites: Solar system samples from near and far, now and then.....	21
A kondritos meteoritek fejlődéstörténete a szülő égitesten	31
Microbially mediated transformation inside the Kaba meteorite?	55
 2. A meteorit fő tömegével foglalkozó előadások – <i>Presentations focusing on the meteorite as a whole</i>	
A kabai meteorit leírása részletgazdag fényképek alapján.....	71
A kabai meteorit fotogrammetriai-alapú modellezése.....	81
A kabai meteorit CT vizsgálata	85
Régi és új eredmények összekapcsolása a kabai meteorit kutatásában:	
A test réteges szerkezete a SEM és a CT felvételeken	91
A kabai meteorit egyes mágneses tulajdonságai.....	97

3. Elmélyülve a részletekben – *Going into details*

A kabai meteorit a modern analitikai mérések tükrében.....	105
Olivine from Kaba meteorite and its implication for astromineralogy	115
Vizes és nagyhőmérsékletű hidrotermás átalakulások a Kaba meteoritban ...	119
¹⁴ C and pre-atmospheric size of the Kaba (CV3) meteorite.....	131
Evidence for oxygen-isotopic exchange in chondrules from Kaba (CV3.1) carbonaceous chondrite during aqueous fluid – rock interaction on the CV parent asteroid.....	137
Noble gas study of the Kaba meteorite	151
A kabai meteorit elemanalitikai vizsgálata.....	159
Determination of Chemical Components of Kaba Meteorite by LDI and ESI Ionization Methods Using a 15T FT-ICR Mass Spectrometer	169
A kabai meteorit vizsgálata SNMS, XPS és mikro-PIXE analitikai módszerekkel.....	179
Agyagásványok és más vizes elváltozási termékek a kabai meteoritban (irodalmi áttekintés).....	185

4. Tudománytörténeti előadások – *Presentations focusing on the history of the Kaba meteorite*

Dokumentumok a kabai meteorit történetéről.....	195
A kabai meteorit története Londonban	239
A kabai cseremeteoritok története.....	251
Átfogó kutatások a kabai meteoriton: a konferencián elhangzott előadások csoportosítása a szülő égitest „szétszedésének” szerkezeti hierarchiaszintjei szerint.....	261
Zárszó – <i>Closing remarks</i>	267

Függelék – *Attachment*

Szerzők, résztvevők – <i>Authors, participants</i>	269
A kabai meteorit irodalma – <i>Literature of Kaba meteorite</i>	282

Előljáró szavak – Opening remarks

A 160 éve, 1857. április 15-én, Kaba határában lehullott meteorit, az Előljáróság intézkedése folytán, néhány napon belül Debrecenbe, a Református Kollégiumba került. Török József, a Kollégium természetrajz tanára már április 29-én bemutatta a meteoritot. A Kiegyezés (1867) előtt, a Bécsi Udvar szerette volna megszerezni az időközben világhírűvé vált követ, erre azonban a Tiszántúli Református Egyházkerület és a Kollégium vezetőségének sikeres ellenállása miatt nem került sor.

Friedrich Wöhler, német vegyész a meteoritok között a világon először mutatott ki benne, vegyelemzéssel szénhidrogén tartalmat. A meteorit jellegzetes, áramvonalas alakja, ami a légkörön való áthaladáskor a forgás és a légellenállás együttes hatására alakult ki, ugyancsak különlegességnek számít. A Földünkön fellelt néhány szenes kondrit típusú meteorit (közéjük tartozik a kabai meteorit is) a Naprendszer kezdeti – mintegy négy és fél milliárd évvel ezelőtti – állapotát változatlanul őrizte meg számunkra.

A kabai meteorit hullásának 160. évében Debrecenben, a Református Kollégiumban rendezett nemzetközi konferencia a kőnek az utóbbi években végzett kutatásaival foglalkozott. A kutatások egymástól messze eső területeket ölelnek fel, erre utal a címben az „átfogó” jelző. A kabai meteorit kutatásában példa nélküli, hogy a főtömegnek néhány Debrecenben elvégzett roncsolásmentes vizsgálatáról, ugyancsak hangzott el előadás. A meteorit történetének néhány, eddig homályban maradt részletével is foglalkozott előadás. Az előadások szerkesztett változatát adjuk közre a kötetben.

A Kollégium körültekintő gondossággal őrizte és őrzi, óvja világhírű kincsét, de időről-időre lehetőséget ad rá, hogy a kor színvonalának és lehetőségeinek megfelelő vizsgálatokat elvégezhesék rajta.

The meteorite fallen in the vicinity of Kaba on 15th April 1857, 160 years ago was taken to the Reformed College in Debrecen by the leaders of Kaba. József Török the natural science teacher of the College presented the meteorite on 29th April. Prior to the Compromise of 1867, the Viennese Court wanted to obtain the meteorite that became world-famous, however, this was not successful due to the resistance of the Transibiscan Reformed Church and the leadership of the College.

- KROT, A.N., PATAEV, M.I., SCOTT, E.R.D., CHOI, B.-G., ZOLENSKY, M.E., KEIL, K. 1998: Progressive alteration in CV3 chondrites: More evidence for asteroidal alteration. *Meteoritics & Planetary Science* 33, 1065–1085.
- SIMONIA, I.A. 2007: Luminescence of cosmic dust – A result of the interaction of radiation with solid matter. *Astrophysics* 50, 548–560.
- SIMONIA, I.A. 2011: Organic component of cometary ice. *Astrophysics and Space Science* 332, 91–98.
- SIMONIA, I.A., MIKAILOV, K.M. 2006: Photoluminescence and cathodoluminescence by cosmic dust. *Astronomy Report* 50, 960–964.

Vizes és nagyhőmérsékletű hidrotermális átalakulások a Kaba meteoritban

Aqueous and high temperature hydrothermal alteration in Kaba meteorite

Gyollai Ildikó^{1,2} – Kereszturi Ákos² – Szabó Máté¹ – Fintor Krisztián³

¹MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet;
e-mail: gyollai.ildiko@csfk.mta.hu

²MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Konkoly Thege Miklós
Csillagászati Intézet

³Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, Vulcano
Kőzettani és Geokémiai Kutatócsoport

Abstract – In this research two processes were studied in Kaba meteorite: high-temperature hydrothermal alteration and aqueous alteration. Mineral association of both alteration processes occur in interstitial area and fractures of olivine. The Ca-Al bearing minerals (hedenbergite, melilite, high temperature polymorph of anorthite – dmisteinbergite occur mainly in interstitial area of amoeboid olivine aggregate). These mineral associations are crossed by iron oxide and sulfide veins, which formed during latter alteration processes. The large number iron oxide bearing fractures across AOAs and chondrules interiors and alteration rims indicates metasomatism of iron rich fluids. The parent body process can be well distinguished from terrestrial alteration: the ferrihydrite could form on parent body, because the ferrihydrite is metastable mineral in terrestrial conditions, transform to stable phase, like hematite. The olivine has higher iron content in vicinity of opaque minerals and iron oxide fractures, where FTIR bands shift to lower wavenumbers with increasing iron content. The Fe-Mg diffusion of olivine varies between 3-5 μm in vicinity of fractures. The olivine megacrysts have fayalite-rich rim, which could formed during Fe-Mg diffusion due to interaction with the matrix.

Tárgyszavak – vizes átalakulás; kondrumok; olivin; vas-oxidok; Fe-Mg vándorlás

Keywords – aqueous alteration; chondrules; olivine; iron oxides; Fe-Mg migration

Bevezetés

A kabai meteorit 1858. április 15-én hullott, melynek első vizsgálatairól TÖRÖK (1858) és WÖHLER (1859) számoltak be, ebben a meteoritban mutattak ki elsőként szerves anyagot (WÖHLER 1859). TÖRÖK (1858) az ásványos összetételel vizsgálta, a mandula-nagyságú fehér zárványt kondrumként írta le. Továbbá SZTRÓKAY et al. (1961) vizsgálta a kabai meteoritot, elsőként írt a kalcium-alu-

mínium zárványokról, először mutatott ki nagyobb mennyiségben spinelt. A kabai meteorit osztályozása módosult az idők során (WIIK 1956; VAN SCHMUSS & WOOD 1967; MCSWEEN 1977), végül KROT et al. (1998) a Bali típusú CV3 meteoritok közé sorolta. A kabai meteorit vízes átalakulásáról elsőként HASHIMOTO & GROSSMAN (1987) számolt be. A kabai meteorit keletkezési hőmérséklete 400-1973 K közé tehető (KUBOVICS et al. 2000), a kondrumok átalakulási pereme troilitot, maghemitet tartalmaz (KUBOVICS et al. 1998; CZAKO-NAGY et al. 2003), ami magasabb átalakulási hőmérsékletre utal. A kabai meteorit BSE-térképezéssel kimutatható réteges szerkezetét BÉRCZI et al. (1998, 2002) írták le először.

Vizsgálati módszerek

A petrográfiai vizsgálatokat Nikon Eclipse E600 polarizációs mikroszkóppal (4x, 10x, 20x, 40x objektív) végeztük.

A kevert fázisok esetén az ásványok elkülönítéséhez Bruker VERTEX70 FTIR ATR Hyperion 2000 mikroszkóppal végeztünk infravörös spektroszkópiai méréseket az MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetében (20x objektív, infravörös spektrumok felvétele 4 cm^{-1} felbontással Opus 5.5 szoftverrel).

A pásztázó elektronmikroszkópos mérések és elemtérképezés az MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetében (JEOL Superprobe733 + INCA Energy 200 Oxford Instrument Energy Dispersive Spectrometer, 20 keV, 6 nA) készült.

Vizes átalakulás

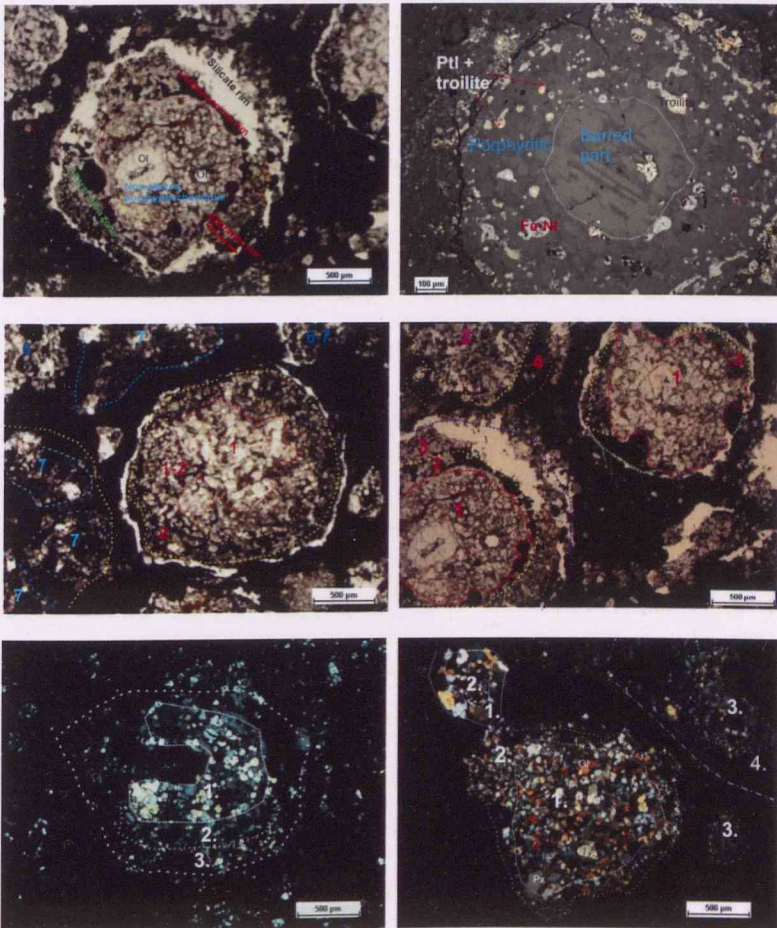
A kabai meteoritban a kondrumok különböző átalakulási szinteket mutatnak. Átalakulási héjaik vízes oldatokkal való kölcsönhatás eredményeképpen alakultak ki, és az átalakulási szintek 7 fokozatra oszthatóak (1. ábra):

- 1) jól megőrződött ásvány töredékek vagy kondrumok belső része;
- 2) gyenge átalakulás: jól megőrződött ásványok beöblösödő peremmel;
- 3) fenokristályok filloszilikátok halmazává alakulnak a mátrix felé;
- 4) filloszilikátosodás a kondrumok belsejében és a kondrumtöredékekben;
- 5) filloszilikátos átalakulás a kondrum töredékekben és mátrixban, ahol a durvaszemcsés elegyrészek jól megőrződtek;
- 6) jelentős átalakulás durvaszemcsés kondrumalkotó ásványokban és filloszilikátosodás;
- 7) erős filloszilikátosodás rosszul megőrződött durvaszemcsés elegyrészekkel, opak ásványok átalakulásával.



1. ábra: Átalakulási szintek a kondrumokban (BÉRCZI 2001).

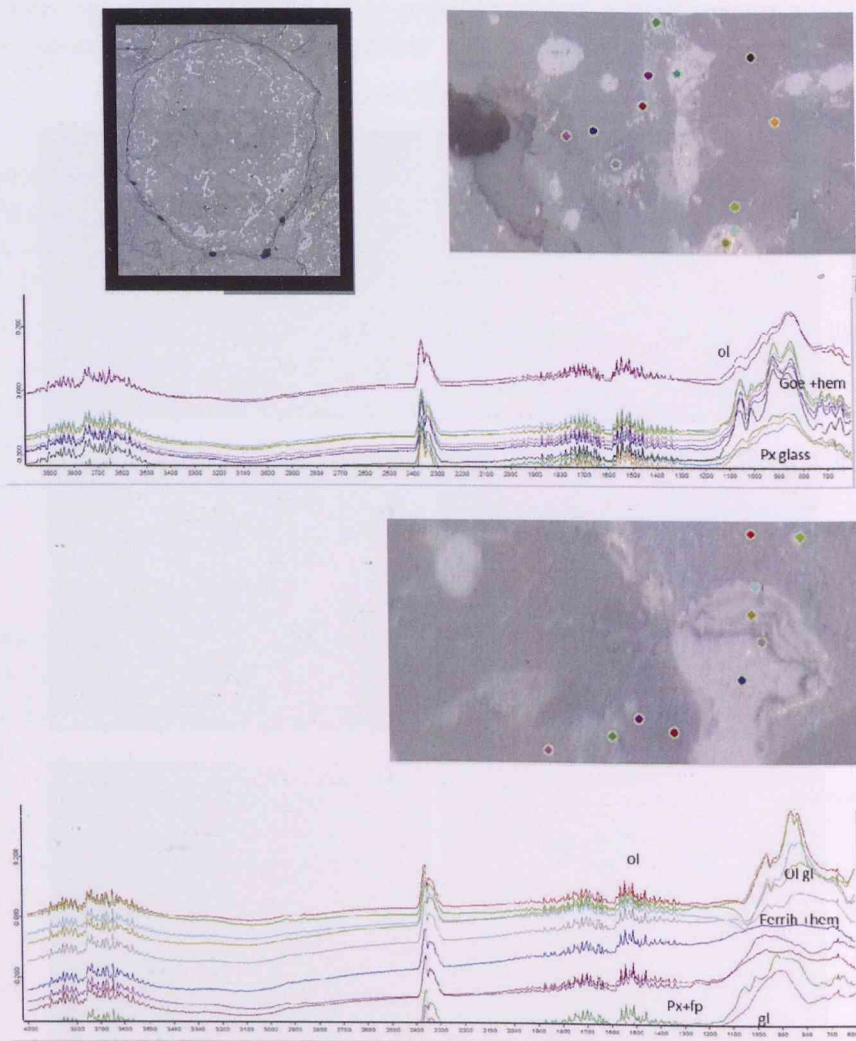
A Kaba meteoritban a kondrumokban és az amőboid olivin zárványokban (AOA) megfigyelt átalakulások a 2-5 átalakulási szintekbe sorolhatók be (2. ábra).



2. ábra: Átalakulási szintek a Kaba meteorit amőboid olivin zárvényaiban és kondrumjaiban (részletek a szövegben).

B6 kondrum FTIR spektroszkópiája

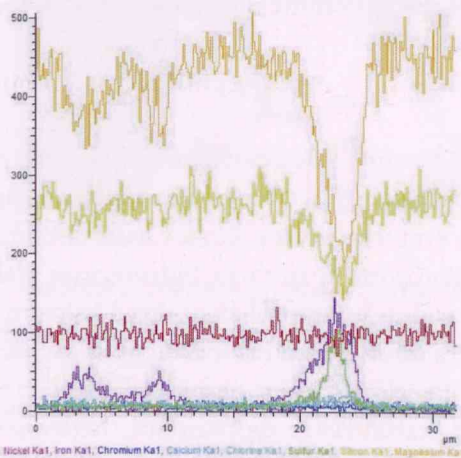
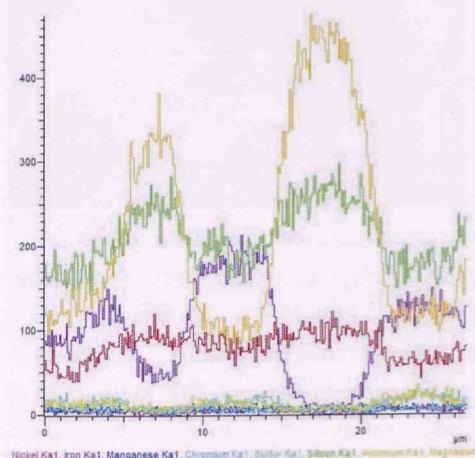
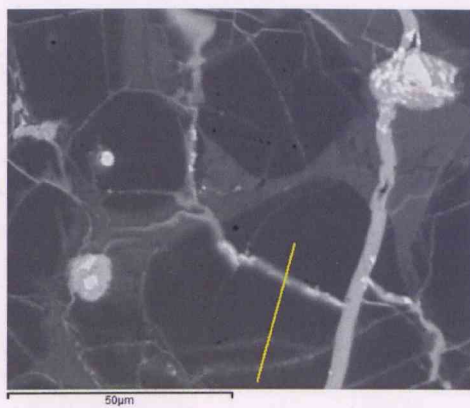
Az IR mérésekkel a vas-oxidokat jól el lehet különíteni (3. ábra), ezáltal elkülöníthető a szülőégitesten és a földi mállás során történt átalakulás: a goethit földi átalakulásra utalhat, míg a ferrihidrit a szülőégitesten is keletkezhetett, mivel a ferrihidrit földi körülmények között metastabil ásvány, ami gyorsan olyan stabil fázisokká alakul, mint goethit, hematit. A ferrihidrit mellett az akaganeit is kimutatható, ami a ferrihidritnél magasabb hőmérsékleten alakul ki.



3. ábra: IR spektrumok a B6/1 kondrum peremén. Kimutatott ásványok: olivin, piroxén, földpát, ferrihidrit+hematit.

A kondrumokat és az amfiboid olivin aggregátumokat átszelő vas-oxiddal kitöltött repedések a kabai meteorit vasas oldatok által történt metasomatózisra utalnak, ami a szövet alapján valószínűleg nem földi mállás, mivel a kondrumok vasasodása nemcsak repedések mentén, hanem a kondrumok szélén folyamatos átalakulási héjként is követhető.

Az IR spektrumok esetén megfigyelhető, hogy a vasban gazdagodott olivinek csúcsai alacsonyabb hullámszámok felé tolódtak el, így infravörös spektroszkópiával is jól követhető az olivinek alacsony hőmérsékletű oldatok által történt vizes átalakulása, valamint az, hogy a kondrumokat mekkora arányban érte az átalakulás.



4. ábra: Elem profilok az olivin megakristályok peremi átalakulásáról, és az olivin kondrumon belüli repedésmenti átalakulásairól.

A kabai meteoritban az olivin megakristályok peremmenti vasasodást mutatnak, melynek oka a mátrixsal való kölcsönhatás lehet. A megakristályok között a mátrix vastartalma nő, a magnézium arány csökken, egymással antikorrrelációt mutatnak (4. ábra).

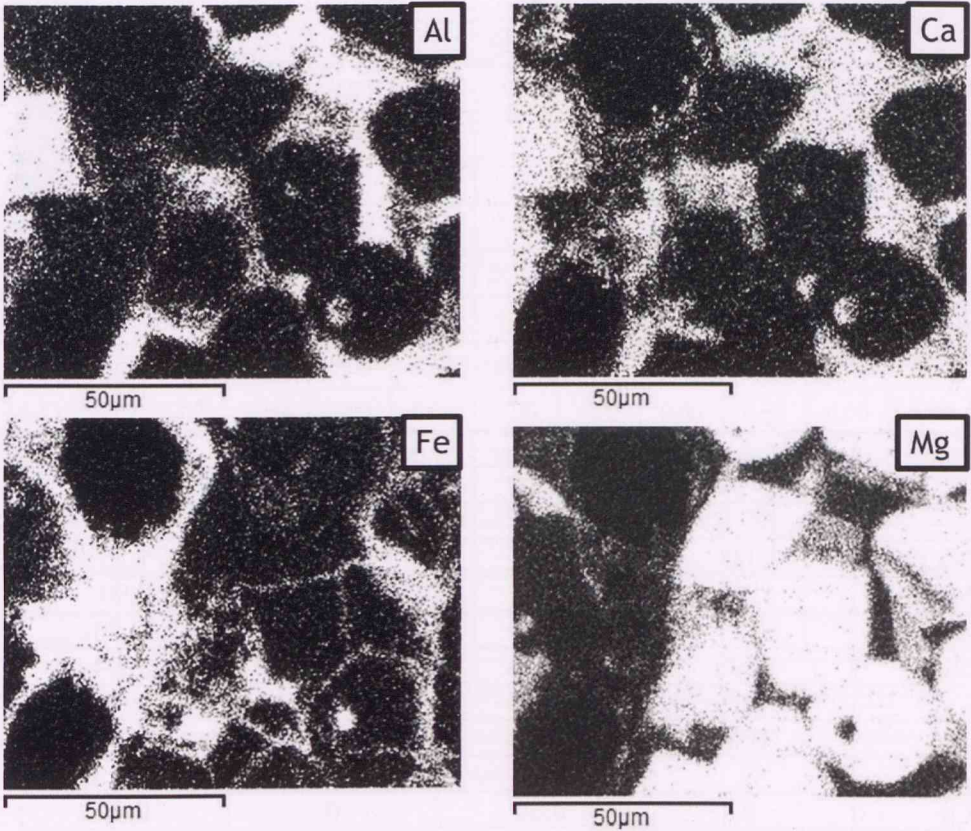
A vas-oxidos repedések mentén az olivin vasasodása 3-5 μm távolságig figyelhető meg. Két típusú vasas repedés különíthető el: troilitos (vas-kén korrelációja) és vas-oxidos (magnéziummal antikorrreláció). A troilitos repedés mentén a vas diffúziója az olivinben nagyobb távolságban figyelhető meg, mint a vas-oxidos repedéseknél (4. ábra).

HUSS et al. (2006) szerint az olivin peremének FeO gazdagodása a mátrix felé a mátrixszal való kölcsönhatás során is történhet (CUVILLIER et al. 2014), a repedés menti vasas metasomatózis 200-250 °C közti vizes átalakuláshoz köthető (McCOY et al. 1991). Termális metamorfózis során létrejövő homogenizáció 400-600 °C-on jön létre, a Fe-Mg zónásság eltűnik, a teljes olivin szemcse magasabb vastartalma a környező olivineknél (DEHART et al. 1992). Mivel a Kaba meteoritban forsterites olivinek jellemzők (GUCSIK et al. 2013), és csak repedés menti illetve szemcsehatárok menti vasasodás figyelhető meg, az alapján a vasas metasomatózis 200-250 °C között történt. A goethit és ferrihidrit jelenléte az alacsony hőmérsékleten történő vizes átalakulásra utal: a ferrihidrit 25 °C alatt válik ki, amely 50-75 °C-on (pH=10) goethitté és hematittá alakul át (DAS et al. 2011). Tehát a Kaba meteoritban a ferrihidrit 25 °C alatt válhatott ki, mely 50-75 °C-on részben goethitté, hematittá alakult.

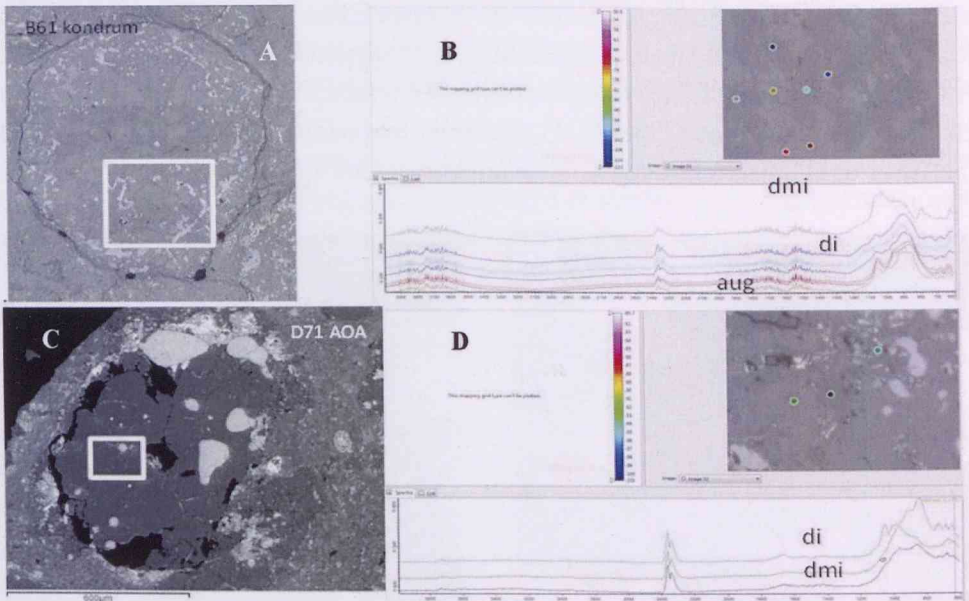
Nagyhőmérsékletű hidrotermális átalakulás

A nagyhőmérsékleten képződött ásványok amőboid olivin aggregátumok repedéseiben és szemcseközi terében figyelhetők meg (5. ábra). A repedésmenti és szemcsehatárok közti Ca-Al tartalmú ásványtársulások alapján a szülőégitesten történt forróvizes hidrotermális átalakulásra lehet következtetni. Vas-oxidos repedések harántolják ezeket a kalcium-alumínium tartalmú átalakulásokat, ezért arra lehet következtetni, hogy a forróvizes hidrotermális átalakulás a vizes átalakulás előtt történt. Az FTIR és elektronmikroszkópia vizsgálatok alapján ezek az átalakulások diopszidból, hedenbergitből, melilitből és nagyhőmérsékletű, földpátösszetételű ásványból, dmisteinbergitből állnak (6. ábra, 1. táblázat). Az anortit nagyhőmérsékletű módosulatát, a dmisteinbergitet FINTOR et al. (2014) írták le az NWA-2086 CV3 kondritból Raman spektroszkópiai vizsgálatok alapján. Mivel a dmisteinbergit nincs az IR adatbázisban, csak az elektronmikroszkóppal

mért földpát összetételű pontoknál az infraszpektrumok jelentősen eltértek a RUFF adatbázisban található földpátoktól, így földpáttól eltérő szerkezetet mutat. A Ca-Al átalakulások FTIR vizsgálata lehetővé teszi a földpát és a dmisteinbergit elkülönítését, valamint a SSHADE adatbázis feltöltésében való együttműködés (SCHMITT et al. 2015) hozzájárul új ásványstandardok bővítéséhez.



5. ábra: Ca-Al tartalmú átalakulás az A61- kondrum olivinjeinek szemcseközi terében (elemtérképezés).



E	an	an	an	an
	34 04 „B6-1”	34 09 „B6-1”	48 03 „D7-1”	50 05 „D7-1”
Na ₂ O	0,00	0,85	0,00	1,25
MgO	1,11	0,88	1,15	0,90
Al ₂ O ₃	32,71	33,29	34,17	33,73
SiO ₂	47,05	46,38	45,50	46,04
CaO	19,13	18,60	19,19	18,08
An	100	92,38	100	88,87
Ab	0	7,62	0	11,13
Or	0	0,00	0	0,00

6. ábra: Ca-Al átalakulás a B61 kondrumban (A-B) és D71 AOA-ban (C-D), ahol a földpát összetételű pontok a földpáttól eltérő IR spektrumot mutatnak, amely alapján a földpáttól eltérő szerkezetű ásvány jelenléte, dmisteinbergit feltételezhető. A, C: B61 kondrum és D71 AOA BSE térképe, az FTIR mérési területet fehér keret jelöli. B, D: FTIR spektrumok a B61 kondrumban és D71 AOA szemcsében (jelmagyarázat: aug=augit, di=diopszid, dmi=dmisteinbergit). E: FTIR mérési területeken mért oxidos összetételek (EDX)

C52	grt-pyr/ alm	mel	mel	hed	hed	hed	mel	mel	mel	mel
	43 01	43 02	43 03	43 04	43 05	43 06	43 07	43 08	43 09	43 10
Na ₂ O	2,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,10	3,50	2,51	1,52
MgO	16,10	13,03	13,78	3,60	3,68	2,62	17,76	22,41	12,89	15,79
Al ₂ O ₃	37,27	32,59	22,96	2,68	1,18	2,38	35,08	17,15	39,00	30,31
SiO ₂	26,68	27,16	32,12	37,57	38,73	33,23	29,99	35,41	28,45	31,64
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00
SO ₃ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,95	1,86	0,68
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	2,98	13,65	17,38	15,13	16,41	16,83	2,92	4,89	3,30	9,98
TiO ₂	0,00	5,02	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	14,37	8,56	12,76	41,02	38,00	44,93	10,27	14,68	12,01	10,08
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
almandin	28,44									
pirop	63,16									
grosszulár	8,40									

1. táblázat: Nagyhőmérsékletű, Ca-Al tartalmú ásványok oxidos összetétele (EDX) a C52 kondrum repedéseiben és szemcse közötti terében (grt=gránát, mel=melilit, hed=hedenbergit).

Összefoglalás

Az olivinek mind a kondrumok, mind az amőboid olivin aggregátumok esetén a mátrix felé vasasodnak. Az amőboid olivin aggregátumok és a kondrumok esetében egyaránt fayalitos-troilitos másodlagos kondenzátum található a peremeknél, amely a kondrumok és amőboid olivin aggregátumok esetén is alacsonyabb hőmérsékleten vált ki, mint az eredeti Mg-dús olivin. Az IR spektrumok esetén megfigyelhető, hogy a vasban gazdagodott olivinek csúcsai alacsonyabb hullámhosszok felé tolódtak el, így infravörös spektroszkópiával is jól követhető az

olivinek alacsony hőmérsékletű oldatok által történt vizes átalakulása, valamint az is megállítható, hogy a kondrumokat mekkora arányban érte az átalakulás. A kondrumokat és az amőboid olivin aggregátumokat átszelő vas-oxiddal kitöltött repedések a kabai meteorit vasas oldatok által történt metasomatózisára utalnak, ami a szövet alapján nem földi mállás, mivel a kondrumok vasasodása nemcsak repedések mentén, hanem a kondrumok szélén folyamatos átalakulási héjként is követhető. A vas-oxidos erek szuperpozíciós helyzete arra utal, hogy a vasas oldatok által történt átalakulás a Ca-Al nagyhőmérsékletű hidrotermás átalakulás után történt. Az IR mérésekkel a vas-oxidokat jól el lehet különíteni egymástól, ezáltal elkülöníthető a szülőégitesten és a földi mállás során történt átalakulás: a goethit földi átalakulásra utal, míg a ferrihidrit a szülőégitesten is keletkezhetett, mivel a ferrihidrit földi körülmények között metastabil ásvány, ami azonnal stabil fázisokká alakul. A ferrihidrit mellett az akaganeit is kimutatható, ami a ferrihidritnél magasabb hőmérsékleten alakul ki.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a GINOP-2.3.2-15-2016-00003 és az OTKA125060 projekt támogatta. Köszönettel tartozunk az MTA CSFK-nak a műszeres háttér (polarizációs mikroszkóp, FTIR-ATR mikroszkóp, elektronmikroszkop) biztosításáért.

Irodalomjegyzék

- BÉRCZI, SZ., DON, GY., GÁL-SÓLYMOS, K., KUBOVICS, I., LUKÁCS, B., MARTINÁS, K., NAGY, B., PUSKÁS, Z., SOLT, P. 1998: Foliated Kaba CV3 chondrite. *Antarctic Meteorites XXIII*, 14–16.
- BÉRCZI SZ. 2001: Kis atlasz a Naprendszeréről (1): Planetáris és anyagterképek a holdközvetekről és meteoritekről. Uniconstant Bt., Püspökladány
- BÉRCZI, S., GÁL-SÓLYMOS, K., KUBOVICS, I., PUSKÁS, Z. 2002: Layered Texture of Kaba CV3 Chondrite. *Meteoritics & Planetary Science Supplement* 37, p. A16.
- CUVILLIER, P., LEROUX, H., JACOB, D. 2014: Fe-Mg Interdiffusion Profiles in Isolated Forsterites in the Allende Matrix. Evidence for a Parent Body Origin: Time-Temperature Constraints Deduced from a TEM Study. Abstracts of the 45th Lunar and Planetary Science Conference, The Woodlands, USA, LPI Contribution 1777.
- CZAKÓ-NAGY, I., KUBOVICS, I., VÉRTES, A. 2003: ⁵⁷Fe Mössbauer study of meteorite from Kaba, Hungary. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 256/1, 153–154.
- DAS, S., HENDRY, M.J., ESSLIFIE-DUGHAN, J. 2011: Transformation of two-line ferrihydrite to goethite and hematite as a function of pH and temperature. *Environmental Science & Technology* 45/1, 268–275.
- DEHART, J.M., LOFGREN, G.E., LU, J., BENOIT, P.H., SEARS, D.W.G. 1992: Chemical and physical studies of chondrules X. Cathodoluminescence and phase composition studies of

- metamorphism and nebular processes in chondrules of type 3 ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, 3791–3807.
- FINTOR, K., PARK, C., NAGY, S., PÁL-MOLNÁR, E., KROT, A.N. 2014: Hydrothermal origin of hexagonal $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (dmisteinbergite) in a compact type A CAI from the Northwest Africa 2086 CV3 chondrite. *Meteoritics & Planetary Science* 49/5, 812–823.
- GUCSIK, A., ENDO, T., NISHIDO, H., NINAGAWA, K., KAYAMA, M., BÉRCZI, SZ., NAGY, SZ., ÁBRAHÁM, P., KIMURA, Y., MIURA, H., GYOLLAJ, I., SIMONIA, I., RÓZSA, P., POSTA, J., APAI, D., MIHÁLYI, K., NAGY, M., OTT, U. 2013: Cathodoluminescence microscopy and spectroscopy of forsterite from Kaba meteorite: An application to the study of hydrothermal alteration of parent body. *Meteoritics & Planetary Science* 48/12, 2577–2596.
- HASHIMOTO, A., GROSSMAN, L. 1987: Alteration of Al-rich inclusions inside amoeboid olivine aggregates in the Allende meteorite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51/6, 1685–1704.
- HUSS, G.R., RUBIN, A.E., GROSSMAN, J.N. 2006: Thermal metamorphism in chondrites. In: LAURETTA, D.S., MCSWEEN, H.Y. eds.: Meteorites and the Early Solar System II., University of Arizona Press, Tucson, 567–586.
- KROT, A.N., PETAEV, M.I., SCOTT, E.R.D., KEIL, K. 1998: Progressive metamorphism of the CV3 chondrites: evidence from Ca-Fe-rich silicates in type I chondrules and matrices in the reduced and oxidized, Bali-like and Allende-like CV3 chondrites and Allende dark inclusions. Abstracts of the 29th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, USA, LPI Contribution 941.
- KUBOVICS, I., GÁL-SÓLYMOS, K., BÉRCZI, SZ., DITRÓI-PUSKÁS, Z., NAGY, B. 1998: Kaba CV3 Chondrite: Oriented Overall Texture and Refractory Spherule in a New, Large Surface Thin Section. Abstracts of the 29th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, USA, LPI Contribution 941.
- KUBOVICS, I., GÁL-SÓLYMOS, K., DITRÓI-PUSKÁS, Z., BÉRCZI, SZ. 2000: New results from the Kaba meteorite Part I. chondrules. *Acta Geologica Hungarica* 43, 477–492.
- MCCOY, T.J., SCOTT, E.R.D., JONES, R.H., KEIL, K., TAYLOR, G.J. 1991: Composition of chondrule silicates in LL3–5 chondrites and implications for their nebular history and parent body metamorphism. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55, 601–619.
- MCSWEEN, H.Y. 1977: Petrographic variations among carbonaceous chondrites of the Vigarano type. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 41/12, 1777–1790.
- SCHMITT, B., ALBERT, D., BOLLARD, P., BONAL, L., GORBACHEVA, M., MERCIER, L., CONSORTIUM PARTNERS, SSHADE 2015: SSHADE in H2020: Development of an European Database Infrastructure in Solid Spectroscopy. European Planetary Science Congress, EPSC2015-628.
- SZTRÓKAY, K., TOLNAY, V., FÖLDVÁRINÉ VOGL, M. 1961: Mineralogical and chemical properties of the carbonaceous meteorite from Kaba, Hungary. *Acta Geologica Hungarica* 7/1-2, 57–103.
- TÖRÖK J. 1858: Értesítés a Kaba-debreczeni lebkőről. *A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője* XVIII, 313–318.
- VAN SCHMUS, W.R., WOOD, J.A. 1967: A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 31/5, 737–765.
- WILK, H.B. 1956: The chemical composition of some stony meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 9/5, 279–289.
- WÖHLER, F. 1859: Die organische substanz im Meteorsteine von Kaba. *European Journal of Organic Chemistry* 109/3, 349–350.