A KABAI METEORIT

DR. SZTRÓKAY KÁLMÁN—TOLNAY VERA — DR. FÖLDVÁRINÉ VOGL MÁRIA*

(XXXIX.—XLIV. táblával)

Összefoglalás: Az 1857-ben hullott kabai karboniumos meteorit újravizsgálata részint az eddigi ismeretek kiegészítését, részint néhány lényeges, a meteoritokra általában újszerű megismerést eredményezett.

A meteorkő olivin-piroxén kondrit. Az olivin van túlsúlyban; ennek a rácsállandók alapján Fe_2SiO_4-tartalma 17—26%.

A „szervesanyag" a kondrumok közötti finomszemű alapanyagot itatja át és az infravörös színképelemzés szerint alifás szénhidrogének együttese; kevés S-t is tartalmaz, UV-lumineszcenciát nem mutat és halogén-tartalma nincsen.

Új ásványi elegyrész a spinell, mely ensztatittal vegyes halmazként cm-nyi gócokban jelenik meg.

Az opak ásványok közt a magnetité a főszerep. Két generációja van, az egyik Ni-t tartalmaz, a másik „normál" összetétellel képződött. Új vegyület a pentlandit, mely mindkét magnetittel, valamint troilittel társul. A fém-Fe csak kis szemekben és 1%-nyi mennyiségben szerepel és láthatólag magnetitből keletkezett. Röntgenelemzéssel a magnetit és ennek Ni-tartalma, valamint a pentlandit is kimutatható. A pentlandit-troilit szételegyedés orientált lemezhálózatként jelenik meg.

A vizsgálatok alátámasztják a kőmeteoritok vitatott, de gyakorta kimutatott NiO- és Fe_2O_3 tartalmának jogosultságát, egyben rámutatnak e komponensek genetikai jelentőségére.

Atomszázalékos értékeléssel a karboniumos kondritok csoportjában egyértelmű fokozatosság mutatható ki az oxidos vas, a szulfidkötésű vas és a karboniumtartalom változásai alapján.

A sorozatban kifejezetten a redukció fokozódása nyilatkozik meg. Ezen belül elkülönülő kisebb szakaszok is jól összeillenek a más úton nyert, pl. a szén- és hidrogénizotópokkal jellemzett csoportokkal.

Az eredmények és a „közönséges" meteoritokból kimutatható karbonium vagy szénhidrogénnyomok arra engednek következtetni, hogy utóbbiakban a szénhidrogéntartalom fokozatosan elhasználódott, ezzel fémredukció, ötvözetképződés járt együtt. A „szerves" kondritok ennek a folyamatnak egyes szakaszait, megakadt fokozatait képviselik.

Az alkati sajátságok és a fejlődés mozzanatainak megnyilatkozási szükségszerűen a genezis kérdését is felvetik. Újszerű származás-elmélet kapcsán kísérlet történt a meteoritpályák változatosságának s ebből eredő behatások különbözőségének értelmezésére. Hozzáfűzve azt a megfigyelést is, hogy a meteoritok általában a kialakulás kezdetlegesebb („éretlenebb") állapotát jelzik. Ez a fejlődésbeli lemaradás az eredetileg kis, a bolygóknál esetleg nagyságrendekkel is kisebb tömegek létrejöttét feltételezi.

A biharmegyei Kaba község határában 1857. április 15-én sajátos összetételű meteorkő hullott. A meteorit röviddel a fellelése után a debreceni ref. Kollégium gyűjteményébe került, ahol jelenleg is őrzik.

A meteorkő első ismertetése T ö r ö k J. debreceni főiskolai tanártól származik, aki 1858-ban a Magy. Tud. Akadémián számolt be a hullás körülményeiről és az alaki leírás kapcsán a külsőleg észlelhető alkati sajátságokról is [19].

A meteorit első vegyelemzését — ugyancsak még 1858-ban — F. W ö h l e r készítette el. Az elemzésből a Fe-Mg-szilikátok túlsúlyára következtetett, felismerte a meteorkő karboniumtartalmát, ennek szénhidrogénalakját is közelítőleg meghatározta.

Jóval később, 1928-ban H o f f e r A. foglalkozott ismét a meteorittal [8]. Közleménye nagyobb részében levéltári adatok alapján annak történetét ismerteti, hogy

* Előadták a Magy. Tud. Akad. Geokémiai Konferenciáján. 1959. okt. 10-én.

miként sikerült a meteorkövet az egykori bécsi császári Hofmuseum többszöri kérése, sőt kemény hangú követelése ellenére is megtartani, ill. a debreceni gyűjteményben megőrizni. Hoffer a meteoriton további külső megfigyeléseket végzett, s újból megállapította annak kondritjellegét.

A fogyatékos ismeretek időszerűvé tették a kő újravizsgálatát, ami Dr. Földvári A. kezdeményezésére indult meg. Szíves közbenjárásának eredményeként (a debreceni ref. Püspökség engedélyével) a kőből vizsgálatra alkalmas mintadarabokat választhattunk le s a részleteiben mindezideig ismeretlen meteoritot újabb eljárásokkal vizsgáltuk meg.

Külső sajátságok

A kő alakja jellegzetes meteoritforma. Elülső fele tompa kúpalak, melyet enyhén fénylő fekete olvadási kéreg borít. A kéreg átlagosan 0,2—0,3 mm vastag és a felszínét sugárirányú barázdáltság tagolja (XXXIX. tábla 1.) A kő alulsó felén és peremrészén több sérülés és kisebb darabok leválasztásának nyoma látszik. Vizsgálataink céljaira két ízben is mintavétel vált szükségessé, amit fűrészeléssel és gépi vágóberendezéssel végeztünk el. A mintavételek után a meteorkő jelenlegi súlya 2 641,2 gr. Legnagyobb (a kupperemen mért) átmérője 15,1 cm, a magasság 10,8 cm.

A kő olvadási kéreggel nem borított részén a tipusosan kondritos alkat jól látható: laza, kissé morzsolódó alapanyagba 1—4 mm átmérőjű kondrumok ágyazódnak. Jellegzetesség, hogy a sötétszürke-barnásfekete anyagban helyenként szürkésfehér 1—2 cm-nyi, elnyújtott, részben szemcsés, részben rostos kristályos halmazzal kitöltött üregek láthatók.

A vegyelemzés eredményei

A meteorit különleges alkata és anyagi sajátságai folytán sajátos kezelési eljárás alkalmazása vált szükségessé. A meteorkő vegyelemzésekor a szokásos eljárástól, a porított minta mágneses kettéválasztásától el kellett térni, mivel az anyag egészében nagyobb pozitív szuszceptibilitást árult el s középerős permanens mágnes az egész mintát mágnesezte. Új megoldásként sósavas kezelés nyert alkalmazást. Miként a későbbi (mikroszkópi és röntgen) vizsgálatok is igazolták, a meteoritnak sósavas kezeléssel történt különválasztása mind az oxidos, szulfidos és szilikátos elegyrészek, mind a szerves anyag dúsítása tekintetében sikerült megoldásnak bizonyult. Az 1 : 1 higítású sósavban a meteorit anyagának több mint a fele (54,09%) feloldódott. Az oldhatatlan rész 45,91%-nak adódott, s ez izzítás után 41,70%-ra változott (a súlycsökkenés közelítőleg a szénhidrogéntartalmat jelezte). E részlegnek Na_2CO_3-as feltárás, majd sósavas oldás után az elemzése előbbihez azonos módon volt elvégezhető. Külön bemérésből történt az összes S és az FeO meghatározása (Groves sz.), továbbá külön bemérések szolgáltak a nedvesség, a P_2O_5, a MnO és K_2O, Na_2O meghatározására is. Külön eljárással történt a „szerves" szénhidrogén meghatározása, a szenet CO_2, a hidrogént H_2O alakban határoztuk meg. A Co meghatározása spektroszkóppal történt. A vegyelemzésre felhasznált anyag menynyisége 2,3 g volt.

Az elemzési eljárásokkal nyert eredményeket az I. sz. táblázat foglalja össze.

A külön eljárással kimutatott elemi szén (karbonium) tartalom 1,99%. Ugyancsak külön úton H_2SO_4-el fejlődött hidrogén mennyiségéből meghatározott elemi (metallikus) vas = 1,22%.

Lényeges tapasztalat, hogy a fémvasmeghatározáskor az oldatban Ni nem volt kimutatható.

Egyik karboniumtartalmú meteorit újabb elemzése [14] jelentékeny halogéntartalmat állapított meg. A kabai meteoritban a halogén elemek egyike sem volt kimutatható.

Minőleges színképelemzéssel a következő elemek voltak észlelhetők: *Ba, Be, Ge, Bi, V, Ga, Cu.* Negatív eredményt adott a Sn, Mo, Zn, Pb, As, Cd, W-ra végzett vizsgálat.

A sűrűség hidrosztatikai eljárással: $D_{20C°} = 3,150$

I. táblázat

	Sósavban oldott rész	Sósavban oldhatatlan maradék	Összesített (teljes) elemzés
SiO_2	5,75%	26,14%	31,89
TiO_2	—	0,16	0,16
Al_2O_3	2,49	1,32	3,81
FeO	16,35	2,70	19,05
Fe_2O_3	5,06	—	5,06
Fe	3,95	—	3,95
S	2,27	—	2,27
Cr	0,11	0,24	0,35
Ni	0,74	0,60	1,34
Co	—	—	0,23
MnO	—	—	0,09
CaO	1,17	1,65	2,82
MgO	15,67	8,23	23,90
K_2O	—	0,01	0,01
Na_2O	—	0,56	0,56
H_2O^-	0,53	—	0,53
P_2O_5	—	0,59	0,09
	54,09%	41,70%	96,11%
	Számított szénhidrogén		4,03
			100,14%

Ásványtani vizsgálat

Minthogy a meteoritvizsgálatok túlnyomó részében — érthető okokból — csak nagyon kevés anyag áll rendelkezésre, az anyagi alkat, ill. ásványos összetétel meghatározására alkalmazott eljárások nem minden esetben fejezik ki a meteorit valódi összetételét. Különösen az ásványos elegyrészek optikai meghatározására erősen korlátozottak lehetőségeink. Ha pl. a kristályos kondritok körében a fejlettebb elegyrészek definiálása még elvégezhető is, már az apróbb szemű, esetleg erősen repedezett és zárványos komponensekre, főleg pedig a finom szemcsézettségű alapanyagra vonatkozóan legtöbbször csak hozzávetőleges megállapításokkal kell beérni. Így különösen a sajátosabb meteorit-elegyrészek szerepéről ismereteink számos esetben nem kielégítők. A probléma az utóbbi időkben megjelent meteorit-tanulmányokban ismételten felmerül. Egyes kutatók [29] rámutatnak azokra a hibaforrásokra is, melyek az ásványos alkat nem kielégítő ismerete folytán a szokványos vegyelemzésből adódnak. A kérdésnek a karboniumtartalmú kondritok körében különös jelentősége van, mert itt eddig főként csak vegyelemzéses vizsgálatok történtek, az ásványos összetételről általánosságban is nagyon keveset tudunk, részletismereteink pedig alig is vannak.

Mindezek adtak ösztönzést arra, hogy a Kabai-meteorit újravizsgálata kapcsán az ásványtani vizsgálatokat ércmikroszkópi, röntgenanalitikai eljárásokkal egészítsük ki, a szervesanyagtartalom közelebbi jellemzésére pedig infravörös spektrometriát alkalmazzunk. E vizsgálatok egyrészt a korábbi megfigyeléseket is megerősítve, a meteorit dominánsa elegyrészeinek közelebbi meghatározását eredményezték, másrészt néhány addig a meteoritokban nem ismert kristályos fázis felismerése és közelebbi meghatározása vált lehetővé.

Vékonycsiszolati kép. A kabai meteorit típusos kondrit (XXXIX. tábla 2.). Az alapanyag vékonycsiszolatban átlátszatlan vagy alig áttetsző üveges-salakos tömeg, melyben finom μ-nyi szilikátszemcsék egyenletes hintésként ágyazódnak (XL. tábla 3.). Egyes kristályhalmazok helyenként kissé nagyobb szeműek s világosabb foltokká-szigetekké csoportosulnak. Nagyobb porfíros kristályok, kristálycsoportok vagy opak elegyrészek csak elvétve mutatkoznak.

Az alapanyagot a sötétbarna alifás (l. alább) szénhidrogén felhőszerű foltossággal itatja át, helyenként áttetszőbben, másutt sötétebb töménységgel. Főként a kondrumok körül torlódott meg jobban, ahol is átlátszatlan burokká töményül. De egyes — lazább szövedékű vagy üreges — kristályos-kondrum belsejébe is gyéren beszüremkedik és foltos átitatásokat okoz.

A kondrumok átmérője néhány tized mm-től 2—3 mm közt váltakozik. Túlnyomóan szilikátos alkatúak vagy opak és szilikátanyagból álló vegyes társulások. A monoszomatikus szilikátkondrum és a tisztán opak (érces) kondrum viszonylag kis térfogatarányban van képviselve. Integrációs asztallal végzett térfogatelemzés szerint:

vegyes kondrum (poliszomatikus és érces)	30,1%	31,7%
monoszomatikus szilikát-kondrum	1,6%	
alapanyag (opak részlege)	4,2%	68,3%
" (többi)	64,1%	
		100,00%

A meteorit uralkodó ásványi komponensei Mg-Fe-szilikátok: olivin, klinoensztatit és bronzit. A gyakorisági sorrend, ill. az olivin túlsúlya a röntgenvizsgálatok alapján volt eldönthető.

Az *olivin* mikroszkópi sajátságai lényegében megegyeznek mindazokkal az észlelésekkel, melyek a kőmeteoritok, különösképpen a kondritok olivin-elegyrészeire vonatkoznak. Egyrészt az alapanyagban mint finomszemű hintés és kisebb-nagyobb szemek, töredékes, kevéssé jól kialakult porfíros beágyazások alakjában vizsgálható, másrészt változatos kifejlődéssel a kondrumok felépítésében vesz részt. A monoszomás olivinkondrum aránylag ritka. Ennek egyik jellegzetes kifejlődése: az azonosan orientált és repedésekkel részekre tagolt olivinkondrumot kívül vékony poliszomás-szemcsés burok övezi, amit már — lazább szerkezete folytán — sötétbarna szénhidrogén itat át. Említhető a több egymásra következő és változó szemcsézettségű burokkal övezett olivinkondrum is. A poliszomás kondrumok számos variációjával találkozunk. Jellegzetes az *a* kristálytani tengely sz. megnyúlt olivinkristályok küllőszerű elhelyezkedése, aminek közeit más szilikátok és opak zárványok töltik ki (XL. tábla 4.). A nagyobb olivinkristályok mindig zárványosak. Az alapanyagba ágyazott olivinkristályok hasadási réseit, áthálózó repedéseit beszüremkedett szénhidrogén tölti ki.

Az olivin szerepének és további sajátságainak megismerése a röntgenelemzés alkalmazásával volt kibővíthető. Ennek eredményeit a többi komponensről nyert adatokkal együttesen mutatjuk be.

Piroxének. Az alapanyag közelebbi megismerését a sötét szénhidrogéntartalom nagymértékben akadályozza. A nagyobb szemcséken vagy kristályos beágyazásokon észleltek szerint az alapanyagban a bronzit és klinoensztatit közel egyenlő arányban van képviselve. A bronzitra kissé legömbölyített vagy töredékes-szilánkszerű alak jellemző, míg a klinoensztatit hosszúra nyúlt, enyhén ferde kioltású lécekként, belsejében földpátszerűen vékony ikerlemezességgel mutatkozik. A kondrumok piroxénelegyrészein részletesebb és kielégítőbb megfigyelések végezhetők. Jellegzetes az olivin- és bronzitalkotta kondrum, melyben a két komponensnek öves (a magrész olivin, külső öv bronzit) elren-

dezésű. Vannak vegyes kondrumok összetett felépítéssel: a nagyobb gömbön belül egy, esetleg két kisebb kondrum is kialakult (XLI. tábla, 5.). Ilyenkor a külső öv fejlettebben kristályos hosszúra nyúlt plagioklászlécekkel és a hézagokba beszüremkedett szénhidrogénfoltokkal. Míg az olivinkristályokat a gazdag opak és üveges zárványosság, főleg parányi krisztallitok tömege jellemzi, addig a bronzitban e fajta zárványok alig fordulnak elő. Ellenben a kristályok között a barna izotrop üveg a gyakori, melyben apró opak szemecskék ágyazódnak. E köztes üvegben a gyenge anizotrópia, ill. a félig kristályos bronzit körvonalai azt jelzik, hogy a kristályosodás ebből az üvegből jött létre.

Klinoensztatit a meteorit felépítésében ugyancsak lényeges szerepet játszik. Jelentősége, miként röntgenvizsgálataink tanusítják, a bronzitéval kb. egyező. A vegyes alkatú kondrumokban mindhárom fő-szilikát (olivin, bronzit, klinoensztatit) együtt van. A klinoensztatit a kondrumok pereme felé képződött gazdagabban, bronzit mindig kíséri. Megfigyelésünk szerint a klinoensztatit nagyrészt bronzitból keletkezett, ill. bronzitkristályok a növekedéskor klinoensztatitban folytatódtak, ami feltehetőleg a vastartalom helyi változásával, s ez az oxidációs fok viszonylagos módosulásával függ össze. A klinoensztatit színtelen, földpátszerűen finom ikerlemezes, gyéren zárványos. A nyúlt termetű kristályok kioltása maximálisan 20—22°. A vékony lemezeket harántelválás tagolja ízekre' amit a beszüremkedett szénhidrogén esetenként jól kiemel. Az excentrikus-ívelt („monoszomás") kondrumban a klinoensztatit + bronzit lemezei is hasonló módon kisebb részekre ízekre tagolódnak (XLI. tábla, 6).

Néhány vegyes alkatú kondrumban más piroxénváltozat is megállapítható. Egyes léces termetű bronzitkristályoknak a kissé zavaros belső magrészére keskeny, tisztultabb kéreg borul, mely 30—31°-os kioltása alapján inkább a *klinobronzit* összetételnek minősíthető. Egyes vegyes felépítésű kondrumban az *augit* jól fejlett, önálló kristályai illeszkednek a többi szilikátos elegyrészek közé, amelynek c-tengelyre merőleges metszetében az (100) szerinti ikerlemez is megjelenik.

Jól definiálható szilikátelegyrészek közé tartozik még a *plagioklász*, mely azonban csak nagy ritkán egy-egy vegyes alkatú kondrum külső övében a bronzit- és olivinkristályokhoz társul. Kristályai 80—100 μ hosszúak, egy-két ikerlemezből összetettek. Néhány maximális kioltás alapján mért értékből 68—78% An-tartalom következtethető. Más esetben a plagioklász finom szemcsés vagy léces beágyazásként az üveglapból félig vagy kevéssé kialakult, inkább kuszált kristallit-halmazként is megjelenik.

A meteorit üveganyaga nemcsak a köztes alapban, hanem a kondrumok belsejében is gyakori, helyenként lényeges alkotórész. Színe barnás, belseje zavaros, finom kristallitokat is bőven tartalmaz. Egy esetben igen finom kristallitokkal telített üvegkondrum is észlelhető volt.

A szilikátelegyrészek további megismeréséről és a bevezetőben említett üregek fehér, kristályos kitöltéséről ugyancsak a röntgenelemzés eredményei kapcsán szólunk.

Ércmikroszkópos vizsgálat

Míg az egyszerű mikroszkópos vizsgálat a kondrit egyedi jellegzetességein és a szénhidrogéntartalom szerepének és szöveti elhelyezkedésének megfigyelésén túl más eredményt nem hozott, addig az ércmikroszkópos vizsgálat több újszerű megfigyelést eredményezett s a szénhidrogéntartalmú kondritok megismerése néhány lényeges észleléssel gyarapodott.

Az opak ásványi komponenseket túlnyomóan a kondrumok tartalmazzák. Kisebb kondrumokat néha teljesen opak fázis tölt ki monoszomás jelleggel. A legtöbb kondrum azonban vegyes felépítésű, és a szilikátos és opak elegyrészek öves elrendezése a gyakori. A meteorit nagyon finom szemcsézettségű alapanyagáról kevés a megfigyelésünk, mert a

laza kötésű opak szemcséket műgyantás beágyazás alkalmazásával sem lehet jól rögzíteni, ill. megfényezni.

Az opak elegyrészek legjelentősebb és leggyakoribb tagja a magnetit. Túlsúlyát a röntgenelemzés (l. alább) is bizonyítja. Kisebb mértékben van képviselve a szulfidfázis. A fémvas pedig csak parányi cseppekben és nagy ritkaságként mutatkozik.

A *magnetit* részint önállóan magnetitkondrumok alakjában, főrészt azonban a vegyes felépítésű kondrumokon belül kisebb-nagyobb szigetekben avagy gömböcskék koszorúalakú öves sorakozásában vizsgálható. Finom szemcsékben elhintve és egyes nagyobb kerek zárványokként, főleg az olivin kristályaiban, ritkábban a bronzit belsejében is megtaláljuk. A képződésformák változatosságát az is lényegesen gyarapítja, hogy a meteoritban kétféle magnetit jelenléte állapítható meg: *1.* „*normál*" magnetit, melynek optikai sajátságai a földi magnetittel egyezők. Tömöttebb alkatú és egyenletes felületté fényezhető. Szilikátokkal főleg olivinnel közvetlen kapcsolata van s „hézagkitöltő" összenövésben is megjelenik. A szulfidfázishoz is sajátosan viszonyul: a belsejében foglalt szulfidkomponens összefüggő nagyobb szigetekben, vagy mezőkben vált ki, helyenként szabályszerű összenövési formák (XLII. tábla, 7.) és a két fázis közt növekedési felülethatárok keletkeztek. Ha a szulfid volt túlsúlyban (tekintet nélkül ennek Ni-tartalmára), az egyensúly elérésére a fölös oxidos vas mindig normál magnetit alakjában vált ki. Ennek egyik jellegzetes megnyilvánulását a XLII. tábla 8. láttatja.

2. A normál magnetit mellett a jelek szerint ennél korábbi képződésű *másik magnetit* is lényeges komponens. Reflexióképessége erősebb, reflexiós színe előbbiéhez képest határozottan világosabb szürke, melybe enyhe sárgásbarna árnyalat vegyül. Ugyancsak teljesen izotróp, de belsejét finom szemcsézettség és egyenletes eloszlású, ugyanilyen finomságú, apró szulfid (pentlandit-) zárványosság, valamint parányi lukacsosság jellemzi. Csiszolási keménysége némileg kisebb a „normál" magnetiténél.

Sósavval mindkét magnetit étethető. De lényeges különbség van a két étetési jelenség között. Míg a normál magnetit felületén gyengén barnás színeződés kíséretében jól kirajzolt szemcsehatárok, ikerlemezesség látható, addig utóbbi magnetit hirtelen és egyenletesen zöldesszürkére-feketére változik és utánfényezéssel sem lehet benne a finom szemcsézettségen kívül a struktúra egyéb nyomait felismerni. Megfigyeléseink utóbbi esetben mindinkább Ni-tartalmú magnetitre engednek következtetni, amit dimetilglioximmal nyert *pozitív Ni-reakció* (és a röntgenelemzés) is megerősített. A reagens alkalmazása előtt a kezdeti sósavas oldással sárgás élénkzöld oldat ($FeCl_3 + NiCl_2$) keletkezik, a dimetilglioximos kezelés (és semlegesítés) után jellemző ibolyaszíneződés jelentkezik. A nikkeltartalmú magnetitről a röntgenelemzés eredményei kapcsán újból szólnunk kell.

A két magnetit strukturális és optikai sajátságai a képződés *szakaszosságára* engednek következtetni. A legkorábbi kiválást a világosszürke, erősebb reflexióképességű, aprószemcsés és finom pentlandit-zárványos Ni-tartalmú magnetit-generáció képviseli, mely elsősorban is az érces kondrumok belső terét tölti ki (XLIII. tábla 10). Következő magnetit-generációnak a normál változatot tekintjük, mely kétségtelenül későbbi folyamat terméke és viszonylag nagyobb mennyiségben képződött. Egyes korábbi magnetitkondrumot köpenyszerűen borítja (XLIII. tábla, 10. ábra). A magnetitképződés két fő szakasza közé rövid szilikátos-gázos fázis iktatódott. Ennek terméke mindenkor megmutatkozik vékony amorf szilikáthártya vagy kisebb-nagyobb gázüregek sorából alakult határvonal alakjában (XLIII. tábla, 9. kép).

Az opak oxidvegyületek közt — bár a vegyelemzés alapján várható volna — a krómit nem került elő. Az újabban más meteoritokon végzett ércmikroszkópos vizsgálatok a jelenlétet főként a kondritok alapanyagában mutatják ki [7]. A kabai meteoritban észlelt 0,35%-nyi Cr-tartalom bizonyos, hogy krómitként van jelen, de az alapanyag a

barnásfekete szénhidrogénnel van átitatva, s ez nem kedvez a krómit egyedüli biztos bélyege: a barna belső reflex felismerésének.

Szulfidvegyületek. A magnetit ismertetése során több ízben említés történt a vele szoros szöveti kapcsolatban mutatkozó szulfidokról. Vizsgálatuk újszerű megismeréseket eredményezett. A meteoritban kétféle és jól elkülöníthető szulfidfázis jött létre, s ezek egyike a Ni-tartalmú vasszulfid, pentlandit. Gyakorisága általában nagyobb a troiliténél. A *pentlandit* tudomásunk szerint ezúttal *először* volt észlelhető meteorit-komponensként. De megjelenése nem volt meglepő, minthogy az egyik magnetiten kívül (mely viszonylag csekély nikkelt tartalmaz) más Ni-hordozó vegyület a kondritban nincsen. A pentlandit optikája megegyezik a földi ásványéval. Olajimmerzióban jelentősen elkülönül a vele összenőtt vagy benne kivált troilittól. Étetési vizsgálat, valamint dimetilglioximmal végzett mikroreakciók ill. papírnyomatreakciók* egybehangzóan a Ni-tartalmat, azaz pentlanditösszetételt bizonyították.

A pentlandit főként a magnetittel összekapcsoltan jelenik meg. Míg a Ni-magnetitben finom hintéses pentlandit-zárványosság, a „normál" magnetitben nagyobb összefüggő foltok-szigetek alakultak ki és az oktaéder szerint rendezett szulfidlemezek is túlnyomóan pentlanditból vannak (XI.II. tábla 7.). Általában a normál magnetit és benne kivált szulfidfázis második szakaszt jelez, melyben már bővebben látható troilit-szétkülönülés is.

A magnetitkiválás mindenkor megelőzte a szulfidét. A korábbi szakaszban, bár gázokkal telítettebb volt a rendszer, gyorsabb dermedés folytán szegregáció kevéssé fejlődhetett ki. Emulziószerű eloszlással a szulfid finom cseppekre tagoltan rekedt meg a (kényszerszerkezetnek minősülő) Ni-magnetitben.

A *troilit* tehát a második szakasz szulfidanyagából vált ki viszonylag jelentősebb mennyiségben. A troilit csiszolási keménysége egyező, vagy kissé nagyobb a pentlanditénál. A keménységbeli ingadozás, a reflexiós sajátságok változékonysága részint az S-telítettség növekedésével, részint Ni-helyettesítéssel magyarázható. Közvetlenül egymás mellett, lényegileg azonos képződési feltételek közt jöttek létre a gyengülő anizotropiájú fokozatok, ami Ni-gyarapodással a troilittől a pentlandit felé jelez átmenetet.

A szilikátfázis kristályosodásakor a Ni-tartalmú vasszulfidolvadék szegregációval különült el, erre mutat a finom filmszerű hártyák hálózata, melynek szálai minden esetben nagyobb oxid-szulfidmezőbe torkollnak (XI.II. tábla 8). A szulfidnak nagyrészt hézagkitöltő szerep jutott. Az Fe-(Ni-)dús olvadékrendszerből elsőként nagy kristályosodási energiája folytán a spinellrácsú magnetit vált ki. De a magnetit a Ni-ből aránylag keveset vett fel, így a Ni-tartalom lényegesebb része a szulfidfázisba kényszerült. A troilit önállóan sohasem képződött. Részint egyszerű emulziós szétválással, részint sajátos orientált lemezhálózat alakjában szételegyedéssel különült el a pentlandittól. A pentlandit (111) oktaédersíkjával a troilit (0001) bázislapja esik egybe s a szabályos (110) forma lapjai a hexagonális $(10\bar{1}0)$ lapokkal egyező helyzetűek (XI.IV. tábla 11.). Pentlanditban szételegyedéssel kivált troilit mindezideig nem volt ismeretes. A kristályszerkezet közti kapcsolattal, és az összenövés szerkezeti lehetőségével H. Ehrenberg foglalkozott [5]. Feltételezése, észleléseink szerint, a szénhidrogénes meteoritok képződésviszonyai közt megvalósulást nyert.

Az *elemi vas* mennyisége egészen jelentéktelen. Elvétve egyes finomszemcsés szilikátkondrum belsejében apró, átlagosan 5—8 μ-os cseppecskékben mutatkozik. Alkata teljesen homogén, s a használatos étető reagensekkel semmiféle struktúra vagy Ni-ötvözetre utaló jel sem mutatkozik. Lényeges azonban, hogy a fémvasszemek jelentős része magnetittel nőtt össze, sőt vannak kis magnetitgömbök, melyekben csak paránvi, a

* Az ellenőrző mikrokémiai vizsgálatokat Dr. Kiss J. adjunktus végezte.

széleken vagy a középpontban kialakult fémvasszemecske látható (XLIV. tábla, 12). A jelenség jól értelmezhetőleg a képződés egy későbbi fázisát, ill. annak redox-egyensúlyát tükrözi. A kérdésre alább visszatérünk. A mikroszkópi képből a fémvas mennyisége hozzávetőlegesen 1%-nyira becsülhető, ami jól megfelel a vegyelemzéssel nyert értéknek.

Röntgenelemzés eredményei

A 0,01—0,001 mm-es finomságra porított anyag röntgenvizsgálatkor némi dúsítás volt kívánatos s ezért előbb nehézfolyadékkal (metilénjodiddal, D = 3,3) két részlegre különítve a próbát, ezek mindkettőjét középerős permanens mágnessel (az anyaghoz érintés nélkül) két részre választottuk. Ezen kívül a vegyi elemzésnél alkalmazott sósavas oldásból visszamaradt részleg, valamint a meteoritban mutatkozó — bevezetőben említett — szürkésfehér kristályos kitöltésű üreg anyagából készítettünk porfelvételt.

A Debye-Scherrer felvételek Fe-csővel, radián kamrában készültek. A vonalintenzitásokat részben becsléssel, részben Zeiss-féle gyors fotométerrel állapítottuk meg. Korrekciót a kősó egyidejű felvételével (a_0 = 5,6282 kX) eszközöltünk. A vizsgálatsorozat lényegesebb eredményei a következők:

1. A meteorit metilénjodiddal elkülönített s ebből permanens mágnessel kivont (tehát „nehéz és mágneses") részlegének röntgenelemzési eredményeit így foglalhatjuk össze: A nehézfolyadékkal és mágnessel dúsított meteoritanyag túlnyomóan magnetit, melyhez olivin, kisebb mennyiségben piroxén és csekély pentlandit társul.

A reflexiók kiértékeléséhez földi képződésű kristályos magnetitnek (Greiner, Tirol) és bazaltból származó olivinnek (Vilke, Nógrád m) azonos körülmények közt készült felvétele szolgált. A frakció röntgenogramján minden magnetitvonal megjelent s azok indexelése elősegítette a többi résztvevő meghatározását. A meteorikus és a földi magnetit számított rácsállandója között feltűnő — bár a mikroszkópi tapasztalatok alapján várható — különbség mutatkozott. Az etalonként használt tiroli magnetit a_0 = = 8,371 kX rácsállandójához* képest a meteorit magnetitjére

$$a_0 = 8{,}3796 \text{ kX érték adódott.}$$

A rácsállandó-változás értelmezésére később visszatérünk.

A röntgenogram a magnetit mellett az olivin jelenlétét is kimutatta. Számos vonalfedés ellenére több vonal van, mely csakis az olivintól származik. Ezekből a vonalakból az olivincella méretét meghatároztuk és az kX értékben a következőnek bizonyult

$$a_0 = 6{,}006 \qquad b_0 = 4{,}761 \qquad c_0 = 10{,}2605$$

Másik szilikátként a piroxéncsoport mikroszkóppal is definiált tagja, a klinoensztatit jelentkezett. Vonalai egy részét a társak reflexei lefedik, de az additív intenzitásokból, főképpen néhány önálló reflexből a jelenléte biztosan kimutatható.

A pentlandit a magnetit zárványaként és összenövés folytán került a frakcióba. Koncentrációja csekély, vonalai gyengék, de az önálló reflexiók jelentkezése alapján részvétele szintén megállapítható.

2. A „nehéz", de a kevéssé mágnesezhető részleg összetevőit illetően várható volt, hogy a sorrend, ill. a koncentráció megváltozik. Az olivin jutott túlsúlyra, a piroxének is jelentős arányban szerepelnek, kevés magnetit is jelentkezett és a pentlandit vonalai itt is megjelentek. A klinoensztatit gyarapodását több jellemző és önálló vonal felerősödése

* A vegyileg tiszta, mesterséges magnetit rácsállandója Clark, Ally és Badger [4] vizsgálatai szerint: a_0 = 8,3740 kX.

bizonyította. A pentlandit részvételét néhány tisztán jelentkező és jellemző: (311), (331) és (511) indexű reflexió jelezte, de mennyisége éppen a kimutathatóság határán mozog. A troilit itt sem észlelhető, ami még csekélyebb mennyiségével (esetleg reflexiói kedvezőtlen eloszlásával) magyarázható.

3. A további eredményekből a „könnyű" és kevéssé mágnesezhető részleget említhetjük.

Itt várható volt ismét az olivin túlsúlya és a másik szilikátos főelegyrészként az ensztatit-bronzit jelentkezése. Ebből következtethetünk arra, hogy a kondrit finom kristályos alapanyagában az olivinnek uralkodó szerepe van. Lényeges továbbá, hogy magnetit még ebben a „nem" mágneses részlegben is kimutatható. Ezúttal az olivinreflexiókból számított rácsállandók (kX-ben) a következők

$$a_0 = 6{,}008 \qquad b_0 = 4{,}756 \qquad c_0 = 10{,}2501$$

Ami pedig a magnetit újólagos jelentkezését illeti, említeni kell, hogy ez részint finom, a szilikátokban hintett eloszlásával, részint a gyengébben mágnesezhető (Ni-tartalmú) változatának részvételével magyarázható. A magnetitre ezúttal is néhány jellemző, ill. tisztán jelentkező (111, 422, 530, 620 és 533 indexű) vonal alapján rácsállandó számítást végeztünk. Ennek eredménye:

$$a_0 = 8{,}3780 \text{ kX}.$$

4. Eredményeink közül kiemelésre érdemes még a sósavas oldáskor nyert maradék röntgenanalízise.

Itt a savas oldás folytán viszonylag feldúsult a szénhidrogéntartalom, ami a primér sugár közelében széles, amorf állapotra utaló gyűrűt és az egész filmmezőn általános fátyolosodást okozott. Csak a közepes szögtartományban lehetett meghatározásra alkalmas reflexiókat leolvasni. Uralkodik a két Mg-dús piroxén, első helyen a klinoensztatittal, de alig kevesebb a bronzit mennyisége. Egyéb savban oldhatatlan összetevő nem dúsult fel annyira, hogy jelenléte észlelhető volna.

5. Végül csak érintjük, minthogy erről korábbi tanulmány [24, 25] már beszámolt, a Mg-Al spinell meghatározását. A meteorit hátsó felületén 2—3 mm széles és 12—18 mm hosszú, elnyúlt rések, üregszerű foltok vannak, amelyeket szürkésfehér, nagyrészt finomszemcsés, részben szálas-rostos kristályos anyag tölti ki. A röntgenelemzés és mikroszkópos vizsgálat egyező eredménye szerint az együttes legnagyobb része Mg-Al spinellnek, a meteoritokból eddig ismeretlen kristályos fázisnak bizonyult. A szálas-rostos kisebb részleg pedig ensztatit-klinoensztatit kíséret. (Egy-két kisebb kondrum belsejét is hasonlóan szürkésfehér, kissé omlós anyag tölti ki, azonban ennek közelebbi vizsgálatára a nagyon korlátozott mintalehetőségek folytán nem került sor.)

A spinellgócok megjelenése a meteoritban genetikailag is jelentős mozzanat. E kristályos szigeteket összefüggő felületek határolják s így a laza, szemcsés alkat ellenére belsejükben a szénhidrogénnek nyoma sem található. A határfelület körül azonban (a kondrumok környezetéhez hasonlóan) a szénhidrogén töményedését, megtorlódását lehet tapasztalni. — A spinellképződés tehát a meteoritkeletkezés korábbi szakaszában a szénhidrogéntartalom beszármazása előtt ment végbe.

Mind az olivinnek, mind a spinellnek legtömöttebb illeszkedésű anionépítménye van, a két szerkezet morfotrópiája a kationpozíciók betöltésének különbözőségén alapul. A kation-anion arány mindkét esetben (A_2BO_4 ill. AB_2O_4) ugyanaz. A kationcserével is járó $Mg_2SiO_4 \rightarrow Al_2MgO_4$ szerkezetváltást V. M. Goldschmidt kontrapolarizációval magyarázta: a nagyobb rádiuszú és gyengén polarizáló B kation belépése (Si→Mg) és erősebben polarizáló A kation (Mg→Al) helyettesítés részleges kötéserő változást okoz, ami

koordináció változást von maga után. Az átépülésnek természetszerűleg megfelelő *P-t* feltételei vannak, vagyis, ha a kevésbé tömör, ill. elasztikusabb olivinszerkezet helyére a kisebb kompresszibilitású spinellrács lép, ez csak a környezeti nyomás jelentős növekedésekor mehet végbe. Bizonyos tájékoztatást nyerhetünk A. E. Ringwood-nak [17] a földköpenyszerkezetekre vonatkozó vizsgálataiból. Ezek szerint az olivin invertációja spinellé a Bullen-féle „C" öv hő- (1500 C°) és mélység -(400 km) viszonyai közt mehet végbe. Elvileg e hő-nyomástartományban a piroxén-szétesés (spinellre + coesitre) is végbemehet. Minthogy elemzésünk csak két komponens: Mg-spinell és piroxén jelenlétét mutatta ki és együttkeletkezésük is nyilvánvaló, olyan szilárdfázisú átalakulásra lehet ezúttal gondolni, melyben az ensztatit nagyobb kovasavigénye folytán az átrendeződés egyensúlyának biztosításához járulhatott hozzá. Ha a spinell (és ensztatit) keletkezésekor (nyilván olvinból) a *P-t* viszonyok nem is érték el a Bullen-féle szintet, a meteoritgenezis korai rövid szakaszán megközelíthették azt.

Összesítésül a röntgenelemzés eredményeiből elsősorban is a magnetit szokatlanul gazdag, meteoritokból ilyen arányban eddig nem tapasztalt megjelenése emelhető ki. Legerősebben természetesen a „nehéz és mágneses" frakcióban jelentkezett, jelentős intenzitás volt tapasztalható a „nehéz és nem mágneses" részlegben, kimutatható volt a „könnyű és mágneses", sőt még a „könnyű és nem mágneses" részlegben is. Így lehetővé vált, hogy egyes frakciókból a magnetit rácsállandóit meghatározzuk. A nyert rácsállandók következetesen nagyobbak mind az irodalmi adatoknál, mind az ellenőrzésül megvizsgált földi (Greiner, Tirol) kristályos magnetit rácsállandójánál. Áttekintésül bemutatjuk a II. táblázatot.

II. táblázat

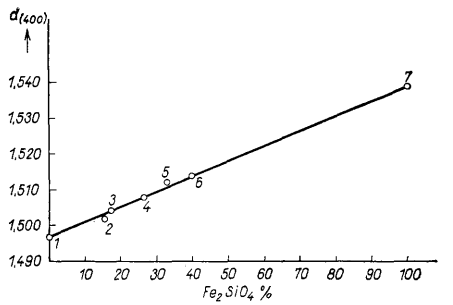
Ferritspinell	Szerző és eredet	a_0 kX
Magnezioferrit	Clark, Ally, Badger, 1939; mesters.	8,366
Magnetit	Gebhardt 1933; Greiner, Tirol	8,367
Magnetit	Sztrókay, 1958; Greiner, Tirol	8,371
Magnetit	Clark, Ally. Badger, 1931, mesters.	8,374
Meteorit-magnetit	Mikhejev és Kalinin, 1958; Mordvinovka	8,370
Meteorit-magnetit, 1.	Sztrókay, 1958. Kaba	8,3780
Meteorit-magnetit, 2.	„ „	8,3796
Trevorit	Holgersson, 1927; — Clark, Ally Badger, 1931; mesterséges	8,410

Hogy a kabai frakciókból meghatározott két a_0 érték minden eddig ismert rácsállandónál nagyobbnak bizonyult, csakis úgy értelmezhető, hogy a rácsméretnövekedés Ni-kation beépüléséből ered. Természetesen csak az egyik magnetitféleség, a korábbi képződésű, pentlanditzárványos, finomszemcsés ferritspinell lehet az a szerkezet, mely az R^3 helyén részben Ni^3-iont tartalmaz. Ez magyarázza a nagyobb reflexióképességet és étetési tapasztalatokat is. Minthogy a rácsméret csak mérsékelten nagyobb az átlagnál és nem közelíti meg a Ni-ferrit (trevorit) a_0-értékét, ebből (a normál magnetit kompenzáló hatásán túl) csak átmeneti jellegre, azaz a Ni-nek részleges szerkezeti behelyezkedésére következtetünk.

A Ni-magnetitnek, ill. trevoritnak meteoritban szerepléséről szórványos említés történt már. Az eddigi közlések azonban vagy a külső (olvadt) kéregben észlelték [15], vagy másodlagos termékként feltételezik [3].

A röntgenelemzés eredményei közt további megismerésre vezetett az olivin rácsállandóinak meghatározása. Ismeretes, hogy az olivinrácsban az elegyedés aránya, vagyis az Fe_2SiO_4-tartalom növekedése a rácsállandókban is lineáris értékváltozással jelentkezik.

A rácsállandók közül — miként erre Mikhejev és Kalinin [13] ugyancsak rámutatott — legcélszerűbb a vastartalom függvényében érzékenyen és egyenletesen változó a_0 értéket választani. Az a_0 definiálására pedig a mindenkor tisztán jelentkező (400) indexű síkhálótávolságot használhatjuk fel. Az ily módon nyert függvény (1. ábra) arra is alkalmas, hogy bármely rácsállandóból az Fe_2SiO_4 mol %-át közelítő pontossággal meghatározzuk. A kabai meteorit olivinje a viszonylag Mg-dús elegykristályok közé tartozik. Ez pedig azt jelzi, hogy az „összvas"-tartalomból a szilikátok aránylag nem nagy hányadot kötnek le. Ugyanakkor a szulfid is viszonylag kevés, tehát a vasnak jelentős része oxidos, sőt nagyrészt ferrikation (magnetit) alakban van képviselve.



1. ábra. Az olivinrács [400] síkháló távolságának változása a Fe_2SiO_4-tartalom függvényében. 1. Forszterit, Vezuv [18], 2. Olivin, bazaltból, Vilke, 3. Olivin Kaba, meteorit, 4. Olivin Kaba, meteorit, 5. Hialosiderit (limburgitból). [18], 6. Hortonolit, 7. Fayalit [18].

Abb. 1. Veränderung des Netzebenenabstandes [400] im Olivingitter in Abhängigkeit vom Fe_2SiO_4-Gehalt-1. Forsterit, Vesuv [18], 2. Olivin aus Basalt, Vilke, 3. Olivin, Kaba, Meteorit, 4. Olivin, Kaba, Meteorit, 5. Hyalosiderit aus Limburgit [18], 6. Hortonolit, 7. Fayalit [18].

A meteorkő szénhidrogéntartalma

A meteorit szénhidrogéntartalmát első elemzője F. Wöhler ismerte fel. Az elemzés eredményét és az alkalmazott eljárást ismertető közleménye [30], valamint M. Hörnes-nek írt levele [31] tanúsítja, hogy a kérdés élénken foglalkoztatta s az ismeretlen „organikus szubsztancia" sajátságait többféle eljárással is igyekezett megismerni.

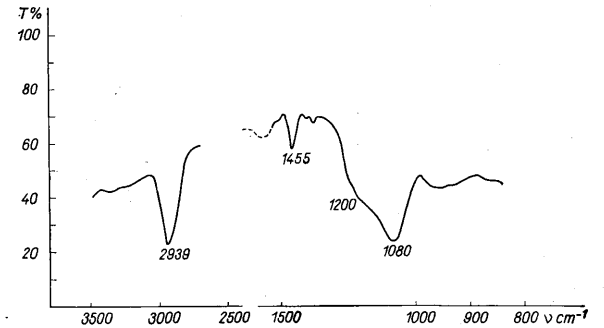
Elemzésében 0,58% karbonium-(Kohle) tartalmat mutat ki. A szénhidrogén jelenlétének észlelésével kapcsolatos megfigyeléseinek eredményeként nemcsak felismerte, hanem eléggé jól jellemezte is a meteorit „szerves" anyagát, amikor azt az ozokerit-félék közé sorolta.

Említhető, hogy G. Mueller [14] a Cold Bokeveld meteorit elemzési eredményei kapcsán arra utal, hogy a szénhidrogénes meteoritok szénhidrogénanyaga a szokásos szűrt UV-fényben nem lumineszkál. Ugyanakkor egyetlen kivételként említi — az észlelés eredetének megjelölése nélkül — a kabai meteoritot, melynek külső olvadt kérgében gyenge barna lumineszcencia tapasztalható. Ezt azzal hozza összefüggésbe, hogy a kabai meteorit az egyetlen, melyben az éteres kivonat vazelin-szerű konzisztenciát mutatott, míg a többi meteoritok kivonatai inkább gyantaszerűek.

Saját vizsgálataink szerint azonban a kabai mintadarabokon UV-gerjesztésre a legcsekélyebb lumineszcencia sem jelentkezett. A korábbi megfigyelést kétkedéssel kell

fogadnunk, mert éppen az izzástól megolvadt külső kéregről van szó, melyben szénhidrogén már alig is maradhatott vissza. Feltehető, hogy az említett gyenge lumineszcencia esetleg valamely későbbi felületi szennyeződésből (pl. kézápoló zsírféle megtapadásából) is származhatott.

A kabai meteorit szénhidrogéntartalmát illetően elsősorban a vegyület főcsoportbeli hovatartozásának megállapítása volt célunk. A szénhidrogéntartalom definiálására infravörös spektroszkóppal abszorpciós színkép készült. Erre a célra



2. ábra. Infravörös spektrogram a kabai meteorit szénhidrogéntartalmáról. (Sósavas kezeléssel dúsított minta). A görbe a hullámszámot (ν) és áteresztési százalékot (T) ábrázolja. (Készült a M. Tud. Akad Fiz.-kém. Kutatólaboratóriumában, Dr. Varsányi Gy. irányításával, 1958.)

Abb. 2. Infrarotspektrogramm der Kohlenwasserstoffe aus dem Meteorit von Kaba. (Durch Behandlung mit Salzsäure angereicherte Probe.) Die Kurve stellt das Durchlässigkeitsprozent (T) in Abhängigkeit von der Wellenzahl (ν) dar. (Aufgenommen im Forschungslaboratorium für Physikalische Chemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, unter Führung von Dr. Gy. Varsányi, 1958).

a porított meteoritanyagnak — vegyelemzés során nyert — sósavas oldási maradékát használtuk, melyben a szénhidrogéntartalom közel kétszeresre dúsult, egyúttal a zavaró szulfidkomponens kioldódott. Az így kezelt anyagról készült spektrogram (2. ábra) minden kétséget kizáróan alifás szénhidrogéntartalmat mutatott ki. A két leghatározottabb abszorpciós sáv a 2939 cm^{-1} és 1455 cm^{-1}-nél, az alifás C—H kötés jellemző frekvenciáinál jelentkezik. Az alifás szénhidrogénláncok kevésbé karakterisztikus C—C vegyértékrezgései 900—1000 cm^{-1} között ugyancsak megtalálhatók. Az 1200 cm^{-1} körül mutatkozó rejtett maximum a szénhidrogén kéntartalmát jelzi, azaz másodlagosan keletkezett szulfátionoktól származik. Az 1080 cm^{-1} abszorpció pedig minden bizonnyal a kevéssé stabilis szilikátkötésektől ered.

A vizsgálat kétségtelenül meghatározza a meteorikus szénhidrogén nyíltláncú szerkezetét, amihez előző észleléseket is hozzávéve megállapítható, hogy csakis magasabb molekulasúlyú homológ csoportokról lehet szó. A korábbi „ozokerit"-jelleg, valamint „vazelinszerű" megjelölés mindezzel összhangba hozható és a paraffin-sorbeli polimerizáció létrejöttét jelzi.

A spektrogram még egy lényeges megállapítást eredményezett: a szénhidrogénből szabaddá váló kén, ill. szulfátion jelentkezésére hívja fel a figyelmet. G. Mueller az ugyancsak savval kezelt és szárított Cold Bokeveld-mintában közel 2%-nyi ként határo-

zott meg és szerves oldószerekkel készült kivonatban 8,78% S-tartalmat állapított meg. Az nem valószínű, hogy — miként Mueller véli — a kén egy részét elemi állapotban tartalmazta volna a meteorit. Sokkal inkább a magasabb homológokhoz kapcsolt kéntartalomra kell mindkét esetben gondolni. A szénhidrogéntartalom jellemzéséhez tartozik még, hogy a kabai meteoritban a halogén-tartalom jelenlétének legcsekélyebb nyomát sem sikerül kimutatni.* Mueller a délafrikai meteoritban jelentős halogén-mennyiséget állapított meg s ebből arra következtet, hogy a halogéntartalom túlnyomóan organikus molekulákhoz van kötve, ezt pedig lényegesen elkülönítő bélyegként jelöli meg a földi szénhidrogének, elsőül a bitumenfélékkel szemben. A halogénnyomozó eljárást megismételtük, sőt az erélyesebb Na-piroszulfátos feltárást is alkalmaztuk s az eredmény minden esetben negatív volt. Tapasztalataink tehát annak megállapítására jogosítanak fel, hogy a halogéntartalom mint a meteorikus szénhidrogénekre jellemző (és egyben a kozmikus eredetet bizonyító) sajátság nem általánosítható.

A karboniumtartalmú kondritok néhány sajátsága és a kabai meteorit besorolása

Részletezett eredmények, észlelési adatok összesítése szükségszerűen magával vonja a karboniumos kondritokra vonatkozó lényegesebb ismeretek áttekintését. Több kutató rámutatott már, hogy a karboniumos kondritok megismerése jelentős kiegészítésekre szorul. A komplett elemzések száma a közelmúltban gyarapodott ugyan [29] és két korszerű vizsgálat a szénhidrogéntartalom elemzésével (G. Mueller, 1953, G. Boato, 1954) is foglalkozott, mégis a vegyelemzések részben ma is hiányosak, avagy nem kielégítők. Ennél is nagyobb fogyatékosság, hogy az ásványos összetétel és alkatbeli sajátságok ismerete szinte az egész csoportnál hiányzik.

Az utóbbi idők kritikai összesítései közül H. C. Urey és H. Craig [26] tanulmányában a vegyelemzés helyessége és megbízhatósága eldöntésénél egyik követelmény az ásványtani vizsgálattal való összeegyeztethetőség. A probléma H. B. Wiik feldolgozásában méginkább felmerül, amikor a kondritok új beosztását vizsgálja és a bevezetett két (*H* — high és *L* — low) főcsoport további tagolására törekszik. Rámutat a hibalehetőségekre, melyek főként az ásványos alkat nem kielégítő ismeretéből adódnak s melyek bárminő normatív számítást bizonytalanná tehetnek. Különösen áll ez a karboniumos kondritokra, melyeknek ásványos összetételében — miként már részletesebb megfigyeléseink bizonyítják — néhány különleges, vagyis az átlagtól eltérő sajátságot is figyelembe kell venni.

Ezek egyike a Ni-tartalom kérdése. A Ni a szénhidrogénes kondritokban közelítően állandó, ugyanakkor a fémes vas vagy teljesen hiányzik, vagy olyan csekély mennyiségű, hogy a Ni-tartalom hordozójaként tekintetbe sem jöhet.** A másik lehetőség, a Mg-Fe ortoszilikát Ni-rejtése ugyancsak figyelmen kívül marad, minthogy minden tapasztalat amellett tanúskodik, hogy a meteorikus olivin Ni-mentes, legalább is olyan mértékben, hogy nem lehet a meteorit Ni-tartalmának hordozója. Mindezideig nem merült fel azonban a kérdés, hogy a Ni ez esetben hova, ill. melyik kristályos fázishoz kapcsolódik. Az Urey—Craig-féle elvek a nikkelt csakis a fémvashoz tartozó komponensnek tekintik és a NiO meghatározását hibának minősítik, esetleges előfordulását a kondritban mállástermléknek tartják. H. B. Wiik [29] már enyhébben értékeli a NiO esetleges szerepét és fémvas hiánya esetén már nem tartja kizártnak a NiO lehetőségét. Feltételezése, miként vizsgálataink igazolják, helyes felismerésnek bizonyult, azzal a kiegészítéssel, hogy a Ni kétféle alakban: mint oxid és mint szulfid szerepelhet egyazon meteoritban. Korábbi másik

* A vizsgálatot Dr. Gedeon T. kartársnak köszönjük.
** Kabai kondrit esetében az 1% körüli fémvas teljesen Ni-mentes

probléma volt a jelentős Fe_2O_3-tartalom, a ferrioxid elemzésbeli szerepeltetésének jogosultsága. A kérdésben ismét Wiik felismerése bizonyult helyesnek, amikor arra utalt hogy a vas egyazon meteoritban 3 ionizációs fokozatban egyszerre nem szerepelhet: ha a fémvas hiányzik, a vastartalom egyrésze ferrialakban van jelen. Ez teljes összhangban van Szádeczky [22] értékelésével, amikor megállapítja a vas ionizációs fokozatainak existenciális mezőit a pH és redoxpotenciál függvényében és kimutatja az antogonizmust a két szélső állapot között. Ehhez fűzzük azt a lényeges tapasztalatot, hogy a meteorit elemzésekor ferrivas csakis a savval nyert oldatban jelentkezett, mint az R_2O_3-nak uralkodó részlege, ami azt jelenti, hogy a ferrivasat túlnyomóan a magnetit tartalmazza. Lényegesnek és feltétlenül jogosultnak tartjuk tehát bármely meteorit Fe_2O_3-tartalmának mindenkori meghatározását, azaz a ferrivas esetleges jelenlétének vagy kimutathatóságának megvizsgálását.* Nem helyeselhető tehát Urey—Craig [26] állásfoglalása, mely a Fe_2O_3-t a NiO-dal együtt másodlagos, ill. utólagos (terresztrikus) oxidáció termékének minősíti. Rá kell mutatnunk arra, hogy a korábbi elemzésekben gyakori a két összetevő: a Fe_2O_3 és NiO együttes jelentkezése, sőt közöttük bizonyos korreláció megnyilatkozása is nyomozható. Az ilyen meteoritokat tehát utólag alá kellene vetni (a kevés anyagot igénylő) röntgenelemzésnek, vagy ha lehetséges, ércmikroszkópos vizsgálatnak, még abban az esetben is, ha észrevehetőbb karbonium- (ill. szénhidrogén)tartalon nem mutatkozott a meteoritban. Ilyen jelek esetén azonban gondos eljárással a karboniumtartalmat is újra meg kellene vizsgálni.

* *
*

Említettük, hogy H. C. Urey és H. Craig 1953-ban újszerű csoportosítást kíséreltmeg, s ennek kapcsán közel 350 meteoritelemzésből kiválogatta a megbízhatóbbnak vélt elemzéseket. A kondritoknak mintegy $^1/_3$-át találta — részben átszámításokkal — alkalmasnak arra, hogy a vegyi alkat sajátságait vizsgálja. A súlyszázalékos értékeléssel számított összvastartalom („total Fe"), alapján a kondritokat két csoportra különítette. olyképpen, hogy az összvastartalomnak a szilikátokban foglalt részét (a Prior-szabály nyomán) viszonyba állította a fémes Fe + szulfidkötésű Fe mennyiségével. A diagramon két elkülönülő mező adódott. Az egyik a H (high) jelölést kapta, ez a nagyobb 28,6% vastartalmú csoport, a L (low)-csoportra a kisebb (22,3%) összvastartalom a jellemző. A két csoport pontjai közel 45°-os lejtésű két párhuzamos egyenes mentén sűrűsödnek. A két kategória — szerzők szerint — azért különül el, mert a vas oxidáltsági állapota erősen különbözik és a két terület közt diszkontinuitás van, amiből a genezist tekintve kétféle meteorit-eredet következtethető. De miként az elemzéseket értékelő szabályok a karboniumos kondritokra nem alkalmazhatók, úgy az ekként nyert kategóriák sem alkalmasak a karboniumos csoport befogadására.

A részletek mellőzésével azt emeljük ki, hogy a karboniumos kondritok nem mindig és nem egyértelműen a H csoport szintjéhez tartoznak, ebből következőleg a sajátságok éppen kontinuitást biztosítanak a két főcsoport között. Egyébként e kondritokban az összvastartalom eléggé szűk határok között változik s ez amennyire jellemző, annyira nem alkalmas elkülönítésekre, bárminő genetikai jelleg kifejezésére.

Vizsgálódásunkban az összetétel jellemzésére kedvező megoldásnak kínálkozott a W. A. Wahl által korábban alkalmazott atomszázalékos kifejezésmód. Előnye, hogy a fémtartalom anionmentesen értékelhető és így a kondritösszetétel közvetlenül egyben

* A kabai meteorit vegyelemzése idején a mikroszkópi és röntgenvizsgálat még nem készült el. Így a Ni-t még (a szokásos) fémalakban, az Fe_xO_y-t azonban már külön határoztuk meg, ill. tüntettük fel. A Ni átszámítását oxidalakra, tekintettel jelentős szulfidos kapcsolatára nem tartottuk célszerűnek.

vethető. Ha ily megoldásban az Fe-komponensekre irányítjuk a figyelmet (a Si, Mg, Al, Ca elhagyhatók, mint nem jellegzetes résztvevők), s az oxidkötésű és szulfidként szereplő Fe-atomszázalékokat állítjuk arányba, a III. táblázaton bemutatott sorakozás áll elő.

A felsorolás rendjét a szulfidos vas csökkenése, az oxidvas egyenletes növekedése, egyszersmind az oxid-szulfid arány fokozatos értékváltozása szabta meg. A jól elkülönülő három szakasz a vegyialkat változásait csoportosítja.

A sorozatba a kabai meteorit a III. szakasz utolsó tagjaként illeszkedik be, és kifejezetten nagy oxidáltsági állapotot képvisel. Látható, hogy a Staroje Boriskino meteoritja, melyben K. Kvasa [10] a szilikátelegyrészek közt kloritot állapított meg, annyira oxidált jelleget mutat, hogy csak a sorozat végén, némileg elkülönítve szerepeltethető.

III. táblázat

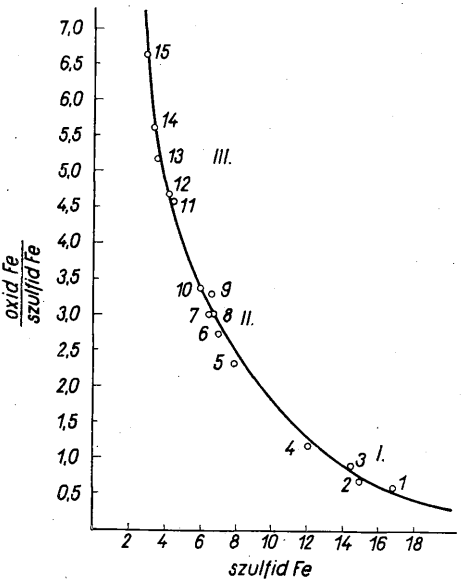
	Csoport	Szénhidrogén tartalmú kondritok	Atomszázalék Fe fém	Fe szulfidos	Fe oxidos	Fe teljes „total Fe"	oxidos Fe / szulfidos Fe		Karbonium súlyszázalék	
1.		Ivuna	0,00	16,82	10,59	27,41	0,63		4,83	
2.		Tonk	0,48	14,94	10,67	26,09	0,71		2,70	
3.	I.	Orgueil	0,00	14,20	13,14	27,34	0,92	0,87	3,10	3,66
4.		Haripura	0,00	12,05	14,95	27,00	1,24		4,00	
5.		Mighei	0,00	7,87	18,31	26,18	2,34		2,48	
6.		Nogoya	0,00	7,10	19,58	26,68	2,76		—	
7.		Cold Bokev.	0,00	6,53	19,75	26,28	3,02		1,30	
8.	II.	Santa Cruz	0 00	6,60	19,96	26,56	3,02	2,97	2,54	2,32
9.		Nawapali	0,00	6,62	20,56	26,76	3,31		2,50	
10.		Murray	0,00	5,97	20,16	26,13	3,38		2,78	
11.		Mokoia	0,00	4,41	20,41	24,82	4,63		0,47	
12.		Lancé	2,22	4,18	19,57	25,97	4,68		0,46	
13.		Felix	4,76	3,51	17,90	26,17	5,10	5,34	0,45	0,71
14.	III.	Warrenton	4,07	3,29	18,36	25,72	5,58		0,19	
15.		Kaba	1,30	2,87	19,27	23,44	6,71		1,99	
16.		Boriskino	0,00	2,16	23,30	25,46	10,78		?	

A táblázat adataiban kifejezett fokozatosság, bizonyos irányú fejlődés és változás képe nyilatkozik meg. A karboniumos kondritok „total-Fe" szintje 26%-nak adódik (táblázatban szereplő adatokból átlagként 26,12% számítható). Ez egyúttal arra is rávilágít, hogy említett szerzőknél a 45°-hoz közeli függvényvonal szükségszerű, mert ha a vastartalom korrelát részlegértékeit szerepeltetik a koordinátákon az aritmetikai középértékegyenes áll elő! A középértéktől eltérést csak annyiban kaptak, hogy a fémvasat a szulfidvashoz adták. Ha a fémvastartalmat az oxidvassal együtt az abszcisszán szerepeltették volna, tisztán a 45°-os (középérték) vonalat nyerik. Így egész kategorizálásuk alapja hibás, vagy inkább értelmetlen.

A karboniumos kondritok együttese tehát nem lezárt és elkülönülő meteorittípust képvisel. Az elemzési adatok az egyértelmű változások sorát mutatják és az egymásutánban határozott irányzatként a redukáltság fokozódása nyilatkozik meg. E kondritok mindegyike egy-egy átmeneti állapotot rögzít. A változások jellegét és viszonylagos fokozatait legjobban a mellékelt parabolikus (másodfokú) függvény érzékeltetheti (3. ábra).

A három szakasz ezúttal is kifejezetten elkülönül. Az első szakasz súlypontja a 3-as (Orgueil) meteorit képviseli, 0,92 arányértékkel, a középső mezőben a 7-es (Cold Bokeveld) meteorit tekinthető típusnak 3,02 hányadosértékkel, míg a legoxidáltabb csoport súlypontját a (13-as) Felix képviselné, melynek hányadosa 5,10. Ez értékek közel

egyezők a csoportátlagokkal és jó megközelítéssel az 1—3—5 számsor nyilatkozik meg bennük. Erre az hívta fel a figyelmet, hogy a meteorit átlag karboniumtartalma a hányadosértékkel e l l e n t é t e s e n v á l t o z i k. Itt pedig (bár a szakaszon belül ingadozások vannak), a középértékek: 0,7—2,3—3,6 ugyancsak az 1—3—5 számsort közelítik meg.



3. ábra. A karboniumos kondritok oxidáltsági fokozatai az oxid-szulfidarány függvényében. 1. Ivuna, 2. Tonk, 3. Orgueil, 4. Haripura, 5. Mighei, 6. Nogoya 7. Cold Bokeveld, 8. Santa Cruz, 9 Nawapali, 10. Murray, 11. Mokoia, 12. Lancé, 13. Felix, 14. Warrenton, 15. Kaba.

Abb. 3. Die Oxidationsgrade der kohlenstoffführenden Chondrite in Abhängigkeit vom Oxid-Sulfid-Verhältnis. 1. Ivona, 2. Tonk, 3. Orgueil, 4. Haripura, 5. Mighei, 6. Nogoya, 7. Cold Bokeveld, 8. Santa Cruz, 9. Nawapali, 10. Murray, 11. Mokoia, 12. Lancé, 13. Felix, 14. Warrenton, 15. Kaba.

A kifejezetten redukciós folyamat legjobban az Fe kötésformáin és ionizációs állapotán mérhetők le, s minden bizonnyal a folyamat létrejöttében a karbonium, ill. szénhidrogéntartalom lényeges szerepet játszott.

A megfigyelt sajátságok genetikai értékeléséről

A kabai meteorit vizsgálata során nyert eredmények továbbfejlesztően alátámasztanak genetikai elgondolásokat és a meteoritkialakulás egyes részleteit közelebbről megvilágítják. A szénhidrogéntartalmon és a bemutatott új meteoritkomponenseken kívül egyéb alkati sajátságok nem különböznek lényegesen a kondritokétól. Jogos tehát abból

kiindulni, hogy származás tekintetében is velük azonos vagy igen hasonló körülményekre következtessünk.

A kabai meteorit szénhidrogéntartalmára vonatkozóan megállapítást nyert, — s ez úgy véljük a többi karboniumos kondritra is érvényes — hogy a szénhidrogén a meteoritkialakulásnak csak későbbi szakaszában került az anyagba. Túlnyomóan a finomszemű, laza összeállású, részben üveges „alapanyagot" itatja át, a kondrumok körül mintegy megtorlódik és a nagyobb szilikátszemekből összeállt tömöttebb szigetek körül is töményebben mutatkozik.

Ez elhelyezkedést figyelembe véve, a szénhidrogéntartalomnak G. Mueller-féle természetes termométerként alkalmazása csak odáig terjedhet, hogy a meteorit a szénhidrogén felvétele, ill. kondenzációja után már nem került ennek termikus bomláshőjénél, 300—350 C°-nál nagyobb hőszintre, ill. ennél nagyobb hőmérsékletű környezetbe. Esetleges nyomásnövekedéssel sem emelkedhetett a hőmérséklet 600°-on felül: e hőhatárnál a nagy oxigénszámú molekulák — bármily nyomás esetén — felbomlottak volna.

Nemcsak a szénhidrogéntartalommal, hanem számos más sajátsággal összefüggésben is felmerül a meteoritkeletkezés szakaszossága, ill. esetenként a fejlődés fokozatainak megnyilatkozása.

A „közönséges" kondritokra vonatkozó újabb vizsgálatok körül hivatkozni lehet H. Hentschel-nek [7] sz. 1956. évben hullott breitscheidi meteoriton végzett mikroszkópos megfigyelésére, melyből elsősorban is a kétszakaszú szulfidképződés érdemel figyelmet. A meteoritkialakulásban határozottan újabb mozzanatként jelentkező második szulfid Hentschel szerint mint finomkristályos halmaz, másodlagosan a fémvas rovására, valószínűleg ennek szulfurálása folytán keletkezett.

Újabb példaként a kabai meteorit két jól elkülönülő korai képződés szakaszára utalunk, melyet a magnetitek és szulfidok két generációja jelez (XI,III. tábla, 9). Feltűnő mozzanat, hogy az elsődleges magnetitkondrumok és egyéb, ugyancsak kevéssé differenciált szulfid-oxid aggregátumok felületét vékony, szilikátos olvadékhártya borítja, ill. zárja le. Erre következett az azonos anyagú továbbnövekedés (második oxid-szulfid generáció), némileg tartósabb hő- (nyomás) viszonyokra való, minden jel szerint félszilárd fázisban végbement szételegyedéssel. A hőmérsékletre vonatkozóan irányadó lehet a két szakasz között megjelent és üvegesen lehűlt szilikát-olvadék, melynek alapján — legalábbis a második — oxidszulfid szakasz hőmérsékletére a J. F. Lovering-féle [11] érték: 1200 K° reálisnak mutatkozik, ami feltételezetten nagyobb nyomás, pl. 10^4 atm. esetén 700 C°-t jelenthet.

A megfigyelések alapján feltételezhető, hogy az ős-elsődleges (primordiális) anyagképződést követően közepes hőmérsékletű, nagyobb nyomású, huzamosabb szakasz következett.* Ezután került sor a törmelékes, finomabb szemcséjű, porszerű, de vegyileg előbbivel közel egyező összetételű anyag tömörülésére, mely jelentősen kisebb hőmérsékleten, a gázfázis kondenzálásával együttesen következett be.

A vázolt mechanizmus, ill. megfigyeléseink értelmezése során a meteoritkeletkezésnek újszerű gondolata merült fel, mely Egyed L. expanziós elméletére alapozódik. A feltevés az, hogy a Titius—Bode-szabályból kiindulva a Jupiter és Mars bolygók közötti térben (vagyis a mai aszteroidák övében) egy egykori napgyűrűre (esetleg gyűrűrendszerre) következtetünk, mely expanziós szétterüléssel fokozatosan felszakadozott és szétszóródott. A napgyűrű anyagában a nagylobb (legfeljebb szatellita méretű) egységek, de főleg a kisebbek és az apróbbszemű, túlnyomóan finom poranyag együtteséhez bősé-

* Burkszer E. S. és Alekszejeva K. N. [9] vizsgálatai szerint az elenovkai kőmeteorit 1180 C°-on kezdett megolvadni, éspedig előbb a kondrumok anyaga, míg a finomszemű köztes anyag megolvadása némileg később, kissé nagyobb hőfokon indult meg

ges gázfázis tartozott. Ez utóbbi az expanzió során az akkumulált kis egységekhez, a szilárd fázishoz társult, mely így kondenzált rendszerként kezdte meg pályáját. Természetesen a gyűrűanyag szétszóródási termékei elsősorban — az aránylag kis kozmikus tömeget képviselő, de becslések szerint igen nagyszámú — aszteroidák lennének, melyeknek szabálytalan, erősen lapult és jelentős turbációkkal zavart pályáit gyakran szélsőségesen kis perihelium és nagy földmegközelítés jellemzi, amihez a nagy bolygók (Jupiter) zavaró hatása folytán a pályáról gyakori kilökődési jelenségek társulnak. Mindez már első megfogalmazásban is kellőleg összehangolható fentebb jellemzett kezdeti szakaszokkal, a mindmáig problematikus meteoritstruktúrákkal, együttvéve pedig a legnagyobb számban és mennyiségben szereplő kondritok s ezen belül a karboniumos kondritok létrejöttével.

A vázolt meteoritpályákon azután a meteorit anyagi és strukturális alkatában különböző változások, ill. azoknak fokozatai jöhettek létre. Ez nyilvánul meg azokban a genetikai jellegű csoportosításokban, ill. típusokban és kategóriákban, melyeket újabban a kutatók (korszerűbb eszközökkel végzett vizsgálatok alapján) felállítottak. Figyelemre méltó, de nem meglepő a különböző eljárásokkal nyert jellemzések alapján előállt csoportok jó egyezése: pl. a Wiik-féle típusok jól megegyeznek a mi sorozatunk szakaszaival. Ugyanígy a Boato-féle izotóp-vizsgálatok alapján nyert két kategória egyike a mi első két szakaszunk meteoritjaiból kerül ki, míg az ő második csoportja oxidációs sorunk harmadik szakaszával egyezik.

De az alkati sajátságok és újabban az izotóp- és radiogénelemtartalom alapján megállapított változások, ill. fokozatok közt nagyobb szélsőségek is adódnak. Utalnunk kell R. R. Marschall [12] két meteorkő kategóriájára, ezek egyikének kora a radiogén helium alapján 4×10^9 év, a másik csoport korára pedig $0{,}5—1{,}0 \times 10^9$ év adódott. Minden jel szerint ez utóbbi csoport erős heliumveszteséget szenvedett, amire abból is következtethető, hogy e meteoritoknak a K/Ar ideje egyértelműen jelzi ugyanezt a veszteséget argonban.

Nem kétséges tehát, hogy a meteoritokat keletkezésük óta és pályájuk során lényeges változások, főként az illékonyabb alkatrészek eltávozását előidéző behatások érhetik. E változások szükségszerűen nem egyenletesek és nem lehet azonos az eredmény sem. A behatások leglényegesebbje az átmeneti, vagy ismétlődő hőnövekedés, ami részint nukleáris, részint periheliumeredetű lehet; fokozott hatást válthat ki a kettő egyidejűsége. De az utólagos hőváltozások — miként a részletvizsgálatok tanúsítják — már sohasem növekedhettek a szilikátok olvadáspontja fölé. Elmondottakkal, így a hőnövekedéssel, ill. anyageltávozással szorosan összefügg a kőmeteoritok laza struktúrája, a finom, egész anyagot átjáró üreghálózat, mely a viszonylag nagy és állandó pórusvolumen-értékben fejeződik ki. A pórustérfogat először a moszkvai 1956. évi meteoritkonferencián került előtérbe [9] Burkszer és Alekszejeva 6 kőmeteoriton végzett vizsgálatai 7—18%-nyi porozitást mutattak ki. Az említett Breitscheid-meteoriton 12% porustérfogat volt mérhető [7]. A nagy olvadáspontú komponensek hézagos illeszkedése egyértelműen azt jelzi, hogy már e struktúra létrejöttekor, helyet kapott a gáz v. folyékony fázis is. Ennek megtapadása, ill. társulása az apróbb szemcséjű szilárd részek akkumulációjával közelítően egyidejűnek tekinthető.

Mindezek figyelembevételével a karboniumos kondritok kialakulása menetében kezdeti stádiumként nagyfokú oxidációt kell feltételezni. Vitathatatlanul erre utal a fémfázis helyett jelenlevő, kevés szulfiddal kísért vasoxid-(magnetit-)tartalom és ennek szöveti jellege. Az első stádiumhoz kapcsolhatjuk még a csekély szilikátolvadék képződést s ezt követő azonos oxid- és szulfidkiválást eredményező második szakaszt is. A szénhidrogén-társulásra csak ez után, a kisebb „törmelék" és finom poranyag összetapadása-

kor került sor, amikor is a nyílt láncú C—H molekulák a finom (hideg) poranyag felületén megtapadva kerültek a meteoritba. (Ez a folyamat pl. a vázolt elméletben az expanziós felszakadás utáni tömörülés szakaszát jelentheti. A tömörüléssel a kondenzált szénhidrogének polimerizációja járt együtt.)

Mint ismeretes, a csillagközi tér színképelemzései kimutatják, hogy az O, H, N, S elemi alakban vagy egyszerű szénvegyületekhez kapcsolódva vannak jelen, feltehetően a meteoritkialakulás gázfázisa is ezzel egyező vagy hozzá hasonló összetételű. Minthogy ez elemek belépése a szénhidrogénláncokba könnyen végbemehet, feltételezésünk szerint a kéntartalmat, vagy legalábbis annak egy részét, e folyamat során veheti fel a meteorit.

Lényeges arra rámutatni, hogy az „organikus" anyag nyomai — ha változó mennyiségben is — de jelen vannak minden meteoritban (Boato, Wiik, Urey). Önként adódik, hogy ezeket immár teljes joggal az egykori nagyobb szénhidrogéntartalom maradványainak tekintsük. Ami továbbmenően azt jelentheti, hogy a nagyszámú „normál" kőmeteorit, a pályáján „átélt" folyamatok során szénhidrogéntartalma fokozatos, végül esetleg teljes elvesztésével, ill. elhasználódásával bekövetkezett (redukciós) állapotot jelez. Benne fémoxidok fémvassá, ill. Fe—Ni-ötvözetté redukálódtak. A szénhidrogénből felszabaduló kevés kéntartalom esetleg szulfiddá kapcsolódva a troilitképződéshez járult hozzá (szekundér szulfurálás). A redukció, említett hőnyomás-viszonyok közt, — feltehetőleg nem egyszeri és összefüggő folyamatként — ment végbe, hanem (a pályaelemektől függően) ismétlődő, kisebb vagy nagyobb szakaszok eredményeként. Földünkre jutott (aránylag kisszámú, mintegy 2%-nyi) „szerves" kőmeteoritok tehát ennek a folyamatnak kezdeti szakaszait, ill. korábbi szinteken megakadt fokozatait mutatják be.

A meteoritok redukciójának gondolata egyes kutatóknál már felmerült. Minthogy a karboniumos kondritok nem illeszkednek be a felállított merev kategóriákba, Urey arra céloz, hogy talán a szenes kondritok valamely „originálisabb" kozmikus anyagok. Határozottan a redukció lehetősége mellett foglal állást Ringwood, A. E., s a bolygók és meteoritok képződésében egyaránt a fémoxidok redukciójának lényeges szerepet tulajdonít. Úgy véli, hogy a redukciós folyamat fokozatait jelzik a bolygók sűrűségértékei. Így pl. a Vénus, a Föld és a meteoritok is közepes fokon redukált anyagok, sűrűségük közepes. Bár okfejtése részleges ellenvéleményt [28] váltott ki és e vita részletei témánkon kívül esnek, azt leszögezhetjük, hogy a redukció lefolyásának tényéhez a vizsgált meteorittal kapcsolatban szinte kétség sem férhet. A táblázatunkban foglalt és diagramban is bemutatott, egyértelmű eredményeken kívül utalni kívánunk még a magnetit redukciójának konkrét jeleire (XLIV. tábla 12.). A mikroszkópi készítményekben tisztán észlelhető, hogy egyes magnetit-szemek fémvassá redukálása indult meg éspedig részint a széleken, de főként a magnetitszemek belsejében, teljesen a kohók redukciós folyamatának megindulásához hasonlóan.

A redukció a szilikátállományban lényeges változást alig okoz. Feltételezhetően a szénhidrogének közepes hőfokon és nyomáson lefolyt lebontása során keletkezett vízgőz egyes szilikátok hidratációját is előidézheti. Az így keletkezett klorit (és esetleg más hidratált szilikát) jelenléte azonban csak a szenes kondritokban valószínű, ahol mérsékelt hatású és részleges redukció ment végbe. Ha a meteoritban a folyamat teljességgel végbement, ismét dehidrálás következett be.

A vázolt genetikai kép talán azzal még kiegészíthető, hogy a meteoritok bármelyike lényegileg a keletkezés valamely korábbi fázisainak egyikét rögzíti. A szükségképpen kis tömegek létrejötte után ezek fejlődése nem vezethet a bolygókéhoz hasonló, vagy azok bármelyikével is egyező differenciáltsághoz, s így a Földével analóg anyagi struktúrához sem.

TÁBLAMAGYARÁZAT — TAFELERKLÄRUNG

XXXIX. tábla — Tafel XXXIX.

1. A kabai szénhidrogéntartalmú meteorit. A természetes nagyság fele. P e l l é r d y L.-né felvétele
Der kohlenstoffführende Meteorit von Kaba. Hälfte der natürlichen Grösse. Aufnahme von Frau L. P e l l é r d y

2. Vékonycsiszolat. Jellegzetes szöveti kép. A kristályos kondrum nagyobbrészt olivin, hozzá apróbb kristályos bronzit és klinoensztatit társul. A környezet szénhidrogénnel átitatott alapanyag. Nagyítás 80 ×
Dünnschliff. Kennzeichnendes Strukturbild. Das kristalline Chondrum besteht grösstenteils aus Olivin, vergesellschaftet mit feinerkörnigem Bronzit bzw. Klinoenstatit. Die Umgebung besteht aus einer mit Kohlenwasserstoff durchtränkten Grundmasse. Vergrösserung 80 ×

XL. tábla — Tafel XL.

3. Vékonycsiszolat. A meteorit alapanyag erősebb nagyításban. Sötét foltok: töményebb szénhidrogénmezők. Apró szemecskék: üveges alapba ágyazott olivin és piroxénkristályok. Nagyítás 800 ×
Dünnschliff. Grundmasse des Meteorits unter stärkerer Vergrösserung. Dunkle Flecken: Felder von angereicherten Kohlenwasserstoffen. Feine Körner: Olivin- und Pyroxenkristalle in der glasigen Grundmasse. Vergrösserung 800 ×

4. Vékonycsiszolat. Vegyes alkatú kondrum. Sugarasan rendezett kristályok: olivin, *a*-tengely sz. nyúlt kialakulásban, közbül üveges hézagkitöltéssel. Nagyobb izometrikus szemcsék: bronzát mellette opak ércanyag. Nagyítás 120 ×
Dünnschliff. Chondrum gemischter Zusammensetzung. Die radial angeordneten Kristalle sind Olivin, entlang der *a*-Achse gedehnt, mit glasiger Zuwischenraumausfüllung. Die grösseren isometrischen Körner sind Bronzit, daneben opake Erzminerale. Vergrösserung 120 ×

XLI. tábla — Tafel XLI.

5. Vékonycsiszolat. Összetett, vegyes kondrum. Belső térben két kisebb aprókristályos és üveges kondrum, a külső öv: léces plagioklász, szemcsés bronzit, kevés (opak) magnetit és beszüremkedett szénhidrogénfoltok. Nagyítás 120 ×
Dünnschliff. Komplexes, gemischtes Chondrum. Im inneren Raum gibt es zwei feinkristalline und glasige Chondren; die äussere Zone besteht aus lamellarem Plagioklas, körnigem Bronzit, etwas (opakem) Magnetit und eingesickerten Kohlenwasserstoffspuren. Vergrösserung 120 ×

6. Vékonycsiszolat. Excentrikus struktúrájú piroxén kondrum. Az ívelt-sugaras klinoensztati + bronzit kristályok haránt-tagolását a beszüremkedett szénhidrogén jól kiemeli. Nagyítás 120 ×
Dünnschliff. Pyroxenchondrum exzentrischer Struktur. Die transversale Gliederung der gebogenstrahlenförmigen Klinoenstatit-Bronzitkristalle wird durch die eingesickerten Kohlenwasserstoffe deutlich hervorgehoben. Vergrössung 120 ×

XLII. tábla — Tafel XLII.

7. Érccsiszolat. Magnetitben oktaéder szerint rendezett szulfid (pentlandit + troilit) lemezek. Kétoldalt (korábbi kiválású) Ni-magnetit aprószemű pentlanditzárványokkal. Olajimmerzió. Nagyítás 400 ×
Anschliff. Nach dem Oktaeder orientierte Sulfid- (Pentlandit + Troilit) Lamellen in Magnetit. An beiden Seiten Ni-Magnetit (früherer Entstehung), mit winzigen Pentlanditeinschlüssen. Ölimmersion. Vergrösserung 400 ×

8. Érccsiszolat. Vas-nikkelszulfidban képződött magnetit-vázkristály. Világos vonalak: szulfidszálak, a fémolvadék szeggregációs mozgásának nyomai. Nagyítás 400 ×
Anschliff. Magnetit-Skelettkristall in Eisen-Nickelsulfid. Helle Linien: Sulfidfäden, Spuren der Segregationsbewegung der Metallschmelze. Vergrösserung 400 ×

XLIII. tábla — Tafel XLIII.

9. Érccsiszolat. Az oxid- és szulfidásványok két generációjának képe. Balról elnyúlt gömbalak a első kiválású Ni-magnetit, belsejében foltos-szemcsés pentlanditzárványokkal. A felületét szilikátolvadék (fekete, buborékos) burkolja. Erre következik az összefüggő, homogén alkatú „normál" magnetit, melyhez csatlakozó szulfidmezőben fehér = pentlandit, szürke foltok = troilit. Ez helyenként rendezett (szételegyedéses) lemezhálózatot formál. Olajimmerzió. Nagyítás 200 ×
Anschliff. Bild der beiden Generationen der oxidischen und sulfidischen Minerale. Die gedehnte Kugelgestalt links ist der Ni-Magnetit der ersten Ausscheidung, im Innern mit fleckig-körnigen Pentlanditeinschlüssen. Die Fläche wird durch eine Silikatschmelze (schwarz, blasig) überzogen. Darauf folgt der zusammenhängende, homogene „Normal"-Magnetit; im anliegenden Sulfidfeld ist weiss = Pentlandit, graue Flecken = Troilit. Stellenweise formen diese ein Netz von orientierten Entmischungslammellen. Ölimmersion. Vergrösserung 200 ×

10. Érccsiszolat. Nagyobb magnetit-kondrum peremöve. Alul világosabb szürke lukacsos és finom pentlandit-szemekkel hintett Ni-magnetit. Erre üvegszerű (fekete) szilikát-öv borul; majd a külső magnetitburok következik, benne nagyobb szulfid (pentlandit + troilit) kiválásokkal. Olajimmerzió. Nagyítás 200 ×
Anschliff. Randzone eines grösseren Magnetit-Chondri. Unten liegt ein heller-grauer löchriger und mit feinen Pentlanditkörnern übersäter Ni-Magnetit, überzogen durch eine glasige (schwarze) Silikatzone; darüber folgt die äussere Magnetithülle mit grösseren Ausscheidungen von Sulfiden Pentlandit + Troilit), Ölimmersion. Vergrösserung 200 ×

XLIV. tábla – Tafel XLVI.

11. Ércesiszolat. Pentlanditban szételegyedéssel keletkezett troilit-lemezrendszer. A lemezek a pentlandit oktaeder síkjaival egyezően 3 irány szerint rendezettek. Olajimmerzió. Nagyítás 600 ×
Anschliff. Troilit-Lamellensystem, im Pentlandit durch Entmischung entstanden. Den Oktaederflächen des Pentlandits entsprechend sind die Lamellen nach drei Richtungen geordnet. Ölimmersion. Vergrösserung 600 ×

12. Ércesiszolat. Fémvas (fehér) keletkezése magnetitből. A redukció megindulása a környező kisebb magnetit-szemeken is látható. A fémvas a széleken vagy a szemek belsejében jelenik meg. Olajimmerzió. Nagyítás 400 ×
Anschliff. Bildung von gediegenem Eisen (weiss) aus Magnetit. Die Anfänge der Reduktion lassen sich auch an den umgebenden kleineren Magnetitkörnern beobachten. Das metallische Eisen tritt an den Rändern bzw. im Innern der Körner auf. Ölimmersion. Vergrösserung 400 ×

IRODALOM — LITERATUR

1. Boato, G.: The isotopic composition of hydrogen and carbon in the carbonaceous chondrites. Geochim. et Cosmochim. Acta, 6, 209, 1954. — 2. Bragg, W. L. und Brown, G. B.: Die Struktur des Olivins. Zeitschr. f. Kristallogr. 63, 538, 1926. — 3. Buddhue, J. D.: The oxidation and weathering of the meteorites. Univ. New Mexico Publ. Meteorities. 1957. In Miner. Abstr., 13. 7, 1957. — 4. Clark, S. L. —Ally Abd and Badger, A. E.: The lattice dimensions of spinels. Am. Journ. of Sc. 22, 539, 1931. — 5. Ehrenberg, H.: Orientierte Verwachsungen von Magnetkies und Pentlandit. Zeitschrift. f. Kristallogr. 82, 309, 1932. — 6. Gebhardt, T.: Präzisionsmessung der Gitterkonstante von Magnetit vom Greiner in Tirol. Centralbl. f. Min. 40, 1933. — 7. Hentschel, H.: Der Meteorit von Breitscheid—III. Petrographische Untersuchung. Geochim. et Cosmochim. Acta. 17, 323, 1959. — 8. Hoffer, A.: A kabai meteorit története. „Debreceni Szemle" kiadv. I—15, 1928. — 9. Krinov, E. L.: 7. Meteoritenkonferenz in der USSR. Chemie d. Erde, 19, 86, 1957. — 10. Kvasha, L. G.: Meteoritika, USSR. 4, 83, 1948. — 11. Lovering, I. F.: A typical parent meteorite body. Geochim. et Cosmochim. Acta, 14, 174, 1958. — 12. Marshal, R. R.: Calculation of the Cosmic Ray Age for the Iron Meteorit „Carbo". Nature, 184, 117, 1959. — 13. Mikhejev, V. J. — Kalinin, A. J.: Применение рентгенометрического метода к исследованию вещественного состава метеоритов. Академия Наук СССР. Метеоритика 15, 156, 1958. — 14. Mueller, G.: The properties and theory of genesis of the carbonaceous complex within the cold bokevelt meteorite. Geochim. et Cosmochim. Acta, 4, 1, 1953. — 15. Ramovič, M.; Novi željezni meteorit (oktaedrit Ogg.) Geologoški Glasnik, Sarajevo, 51. 1956. — 16. Ringwood, A. E.: On the chemical evolution and densities of the planets. Geochim. et Cosmochim. Acta, 15, 257, 1959. — 17. Ringwood, A. E.: The constitution of the mantle-III. Consequences of the olivine-spinel transition. Geochim. et Cosmochim. Acta, 15, 195, 1958. — 18. Rinne, Fr. — Leonhardt J. — Hentschel, H.: Die Raumgruppe des Olivins. Zeitschr. f. Kristallogr. 59, 548, 1924. — 19. Török, J. v.: Ueber den Kaba—Debreczin-Meteorit. Poggendorff's Annalen d. Physik. 105, 329, 1858. — Értesítés a Kaba—debreczeni lebkőről. Magy. Tud. Akad. Értesítője, 116, 1858. — 20. Török, J.: A Magyar Birodalom meteoritjai. Term. Tud. Közlöny, 14, 508, 1882. — 21. Spielmann, P. E.: Bitumen in Meteorite. Nature, 114, 276, 1924. — 22. Szádeczky K. E.: Geokémia. Budapest, 1955. — 23. Szádeczky K. E.: A genetical system of magmatic rocks (Preliminary abstract.) Geochem. Conference of the Hungarian Academy of Science. I. 17, 1959. — 24. Sztrókay, K.: Über einige Meteoritenmineralien des kohlenwasserstoffhaltigen Chondrites von Kaba, Ungarn. N. Jahrb. für Min. 94. (Festschrift Ramdohr) 1284, 1960. — 25. Sztrókay K.: The application of X-ray analysis to the study of meteorites. Annales Univ. Sci. R. Eötvös. Sectio Geologica. 2, 117, 1959. — 26. Urey, H. C. and Craig, H.: The composition of the stone meteorites and the origin of the meteorites. Geochim. et Cosmochim. Acta. 4, 36, 1953. — 27. Urey, H. C.: Primary and secondary objects. Journal of Geophysical Research, 64, 1721, 1959. — 28. Urey, H. C.: On the chemical evolution and densities of the planets. Geochemical Note. Geochim. et Cosmochim. Acta, 18, 151, 1960. — 29. Wiik, H. B.: The chemical composition of some stony meteorites. Geochim. et Cosmochim. Acta, 9, 279, 1956. — 30. Wöhler, C. M.: Über die Bestandtheile des Meteorsteines von Kaba in Ungarn. Sitzungsber. der math. Naturw. Cl. d. Akademie der Wissenschaften, Wien, 33, 205, 1858. — 31. Wöhler, C. M.: Die organische Substanz im Meteorsteine von Kaba. Sitzungsber. der math. naturw. Cl. d. Akademie der Wissenschaften in Wien, 34, 7, 1859.

Über den Meteorit von Kaba

DR. K. SZTRÓKAY—V. TOLNAY—DR. M. FÖLDVÁRI-VOGL

Die Neuuntersuchung des 1857 zu Kaba gefallenen Meteorits ergab teils die Ergänzung der bisherigen Kenntnisse, teils gewisse Ergebnisse, die bezüglich der Meteoriten im Allgemeinen neu sind.

Der Meteorstein ist ein Olivin-Pyroxen-Chondrit. Olivin ist in Überschuss; sein Fe_2SiO_4-Gehalt beträgt, aus den Gitterkonstanten berechnet, 17—26%.

Die „organische Substanz" füllt die feinkörnige Grundmasse unter den Chondren aus und besteht anhand einer infraroten Spektralanalyse aus aliphatischen Kohlenwasserstoffen; sie enthält auch etwas S, weist keine UV-Lumineszenz auf und enthält keine Halogen-Elemente,

Ein neuer mineralischer Gemengteil ist der Spinell, der in Aggregaten mit Enstatit in Knoten von Zentimetergrösse erscheint.

Unter den opaken Mineralien spielt Magnetit die führende Rolle. Er kommt in zwei Generationen vor, eine enthält Ni, die andere besitzt eine „normale" Zusammensetzung. Eine neue Verbindung ist der Pentlandit, der mit beiden Magnetiten, sowie auch mit Troilit vergesellschaftet auftritt. Gediegenes Eisen kommt nur in kleinen Körnern in einer Menge um 1% vor und stammt offenbar aus dem Magnetit. Die Röntgenanalyse hat sowohl den Magnetit und seinen Ni-Gehalt als auch den Pentlandit nachgewiesen. Die Entmischung von Pentlandit und Troilit ergab orientierte Lamellensysteme.

Diese Untersuchungen bestätigen die Berechtigung der öfters nachgewiesenen aber auch bezweifelten NiO- und Fe_2O_3-Komponenten der Meteorsteine, und weisen zur gleichen Zeit auch auf die genetische Bedeutung dieser Komponenten hin.

Bei einer Wertung nach Atomprozenten lässt sich im Kreise der kohlenstoffführenden Chondrite eine Korrelation der Gehalte an oxydischem Eisen, sulphidisch gebundenem Eisen und Kohlenstoff nachweisen.

In dieser Reihe offenbart sich ausgeprägt eine Zunahme der Reduktion; auch die innerhalb dieser Reihe sich unterscheidenden kleineren Gruppen lassen sich mit anderweitig z. B. anhand von Kohlenstoff- und Wasserstoffisotopen definierten Gruppen recht gut vereinbaren.

Die Ergebnisse sowie die aus den „gemeinen" Meteoriten nachgewiesenen Spuren von Kohlenstoff bzw. Kohlenwasserstoffen lassen vermuten, dass in letzteren der Kohlenwasserstoffgehalt allmählich verzehrt wurde, mit einer gleichzeitigen Reduktion der Metalle und Bildung von Legierungen. Die „organischen" Chondrite stellen gewisse Stufen, eingehemmte Phasen dieses Prozesses dar.

Die Struktureigenschaften und die Auswirkungen der einzelnen Entwicklungsstufen werfen notwendigerweise auch die Frage der Genese auf. Anhand einer neuen Entstehungstheorie ist eine Deutung der unterschiedlichen genetischen Effekte in Zusammenhang mit der Verschiedenheit der Meteoritbahnen angestrebt worden. Es lässt sich dazu noch anführen, dass die Meteoriten eine primitivere („unreifere") Etappe der Entwicklung darstellen. Dieses Nachhinken in der Entwicklung deutet die (ehemalige) Existenz von kleinen, den Planeten gegenüber vielleicht um Grössenordnungen kleineren Himmelskörpern.