

A kabai meteorit újrvizsgálatának fontosabb eredményei I. Pt-Ir-tartalmú fehérzárványhalmazok, -kondrumok és kondrumszerű képződmények a kabai meteoritban

KUBOVICS Imre¹, BENDŐ Zsolt¹, GÁL-SÓLYMOS Kamilla¹, DITRÓI-PUSKÁS Zuárd¹,
MIKLÓS Dóra Georgina¹, IVANICS Balázs²

¹ELTE Közvetlen-Geokémiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

²BPM Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg 09599, Waisenhausstr. 10

¹drkubovics@t-online.hu, miklosdoragina94@gmail.com, ²bal.ivanics@gmail.com

The most relevant results found in the re-analysis of the Kaba meteorite *I. Platinum-iridium containing white inclusions, chondrules and chondrule-like formations* *in the Kaba meteorite*

Abstract

In the Kaba meteorite there are various types of refractory minerals and mineral associations. Most of them can be found in white inclusions in the rounded-oval, chondrule-like formations, and in "chondrules" with a diameter of 100–200 μm . The yellowish-white "xenolithes" of 10–18 mm length are also visible on the surface of the meteorite, and are composed of irregularly-shaped grainy aggregates. Locally, clusters of CAI-aggregates of various sizes can be observed and these are probably fragments of an originally bigger piece. Their mosaic structure could also be the result of this fragmentation. The aggregates are mostly in the 100–400 μm size range, and their respective compositions are different. They have complex zoning and sometimes they also contain matrix material. Their most frequent phase is Al-spinel, which is predominant in the core but generally can be also found in the outer zones, albeit in a smaller amounts. The main constituents in the outer zones are clinopyroxenes–Al-diopside, fassaite–Ti-fassaite, and gehlenite (albeit in a smaller amounts to the former). The outermost zone of some aggregates consists mainly of forsterite.

The mineral composition of the rounded-oval, chondrule-like formations, as well as of the small chondrules, is almost identical to the aggregates. However, there are significant differences in the respective formation sequences and proportions of the mineral constituents.

The predominant core-forming phases generally contain inclusions in various proportions: e.g. there are some perovskite and/or spinel in the gehlenite, while spinel contains plenty of perovskite inclusions. In the core of the rounded, cloudy-like aggregate, the mineral is Mg-containing gehlenite. The latter contains a platinum-rich (72%) inclusion with some iridium and hafnium, among others. On these bases, the respective form, structure and mineral composition of the gehlenite, spinel-, normative hercynite-containing, and corundum-containing varieties can be distinguished in the rounded-oval, chondrule-like formations. The characteristic phases of a given variety are generally predominant in the core and have affluent inclusions: e.g. gehlenite contains rounded perovskite, while in the outer zones the inclusion is usually spinel. Perovskite is a characteristic inclusion in the core of the other varieties as well. The zone surrounding the core is mainly composed of spinel and clinopyroxene. In some varieties, however, there is a significant amount of amorphous material (mesostasis) with 5–7% Na_2O ; the latter occasionally forms a well-defined zone. This zone probably contains (normative) sheet silicates, similar to those found in the Mokoia meteorite by MACPHERSON et al. (1983).

Keywords: white inclusions, mesostasis, phenocrysts, mineral associations, zoned crystals, chondrules, CAI inclusions

Összefoglalás

A kabai meteoritban többféle eredetű és összetételű hóálló (refraktorikus) ásvány, hóállóásvány-társulás mutatható ki. Legtöbbet és legjellegzetesebbeket a fehérzárványhalmazok, továbbá a kerekded–ovális kondrumszerű képződmények, valamint a 100–200 μm átmérőjű „kondrumok” tartalmazzák. A meteorit felszínén is látható – általában 10–18 mm hosszú – sárgásfehér „zárványokat” a mikroszkópi vizsgálatok szerint többnyire teljesen szabálytalan alakú, „szaggatott” szerkezetű, szemcsés halmazok alkotják. Helyenként egymás közvetlen közelében több különböző méretű halmazból álló csoport alakult ki, valószínűleg egy nagyobb darab széttöredezése eredményeképpen. A halmazok mozaikos szerkezete is ezzel magyarázható. Az uralkodóan 100–400 μm méretű, gyakran különböző összetételű, részben alapanyagot is tartalmazó szemcsék általában bonyolult zónás szerkezetűek. Leggyakoribb, illetve legnagyobb mennyiségű összetevője a magot alkotó, de kisebb mennyiségben rendszerint a többi övben is megjelenő közönséges spinell. A következő öveket

részben gehlenit, de uralkodó mennyiségben, titánban és alumíniumban gazdag monoklin piroxének alkotják. Egyes szemcsék körül záró övként a forsterit is megjelenik.

A kerekded–ovális megjelenésű, kondrumszerű képződmények, valamint a kis méretű kondrumok az előzőekkel megközelítőleg, illetve részben azonos ásványi összetételűek, az alkotók mennyiségi arányában, valamint a képződési sorrendben azonban jelentős különbségek mutatkoznak. Az uralkodó magalkotó fázisok általában változó mennyiségű zárványt tartalmaznak. Például a gehlenitben rendszerint kevés perovszkit és részben spinell, a közönséges spinellben pedig többnyire sok perovszkit mutatható ki. Külön kiemelkedő a kerek „felhőszerű” halmaz magjának túlnyomó részét alkotó magnéziumtartalmú gehlenit nagy mennyiségű, mégpedig 72% platinát, továbbá — többek között — irídiumot és kevés hafniumot is tartalmazó „zárványa”. A kerekded–ovális képződményeken belül az alakzat, a szerkezet, valamint a jellemző ásványok alapján gehlenitet, közönséges spinellt, valamint normatív hercinitet és korundot tartalmazó változatot különböztethetünk meg. A jellemző uralkodó ásványok rendszerint az adott változat magját alkotják, és általában jelentős mennyiségű „zárványt” — főleg kerekded perovszkitot tartalmaznak. A mag körüli övezetet főleg spinell és monoklin piroxének alkotják. Egyes változatokban azonban az 5–7% Na₂O-t tartalmazó — esetenként önálló övet alkotó — amorf anyag („mezosztázis”) is jelentős mennyiséget képvisel. Ez az öv valószínűleg a Mokoia-meteoritban kimutatott (MACPHERSON et al. 1983) filloszilikátokhoz hasonló összetételű (normatív) rétegszilikátokat is tartalmaz.

Kulcsszavak: fehérzárványok, mezosztázis, fenokristályok, ásványtársulások, zónás kristályok, kondrum, CAI zárvány

Előzmények — bevezetés

A kabai meteoritot (1. ábra) elsőként TÖRÖK (1858) ismertette. WÖHLER (1859) kimutatta, hogy a kondrit bitumenszerű szénhidrogén formájában mintegy 0,58% karbont — és H₂O-t is — tartalmaz. Ennek alapján TÖRÖK (1882) a szenes kond-



1. ábra. Kabai meteorit (NAGY M. felvétele)

Figure 1. Kaba meteorite (photo taken by M. NAGY)

ritokkal kapcsolatosan megjegyezte: „Legfőbb nevezetességük abban áll, hogy szenet tartalmaznak, mely a növény és állatország jellemző alkotórésze, és így tanúbizonyságot tesznek arról, hogy azon világokban, melyekből hozzánk kerülnek, megvannak a szerves, a növényi és állati életnek a feltételei.” E gondolat, illetve feltételezés azért érdemel figyelmet, mert később, az 1960-as években számos kutató, elsőként a magyar származású NAGY et al. (1961), CLAUS & NAGY (1961), MEINSCHEN et al. (1963), TIMOFEJEV (1963), NAGY (1968) egykori életnyomokra utaló struktúrákat véltek felismerni a szenes kondritokban.

HOFFER (1928) a meteoritot már kondritnak minősítette. Felismerte a fő tömegtől eltérő jellegű és összetételű, 10–15 mm hosszú „mandulaszerű fehér foltokat”, mai ismereteink szerint a „fehérzárványokat”. Az anyagát azonban — részletesebb vizsgálatok nélkül — földpátnak vélte.

A meteorit első korszerű — műszeres — vizsgálata SZTRÓKAY (1959, 1960) és SZTRÓKAY et al. (1961) nevéhez fűződik. Kimutatták az alapanyag „túlsúlyát”, és meghatározták az ásványi összetételét. Méréseik szerint a meteorit 68,3%-a alapanyag. Ez azonban csak az általuk vizsgált metszetre vonatkoztatható. A kondrit más részeiben — a kondrumok, valamint a kristályhalmazok változatos mennyiségétől és méretétől függően — lényegesen kisebb részarányt képvisel. A kondritokra jellemző színes szilikátok, az olivin, klintoensztatit, valamint augit mellett egyes kondrumok peremén bázisos plagioklásztt is észleltek. Jelentős mennyiségű oxidásványt, — ezeken belül a meteoritokban mindaddig nem észlelt spinellt — továbbá szulfidokat (troilit, pentlandit), valamint kevés fémfázist (1,22%-ot) is kimutattak. A kabai meteorit különleges történetét a korabeli adatok felhasználásával minden részlegre kiterjedően NAGY (2008) foglalta össze.

Hullási sorrendben a kabai meteorit világviszonylatban a 4. nyilvántartott szenes kondrit. Besorolása többször módosult. WOOD (1967) a C2-be, VAN SCHMUS & WOOD (1967), MCSWEEN (1977) és PECK (1983) a legkevesebb karbóniumot tartalmazó C3-ba, majd ezen belül GUIMON et al. (1995) a magnetit és a fémfázis aránya, valamint a nikkelt megjelenési formája alapján az oxidáltabb vígaranoi (CV), KROT et al. (2004) pedig az oxidált Bali-típusú (CV_{3_{OXB}}) csoportba sorolták. RUBIN (2012) további finomítással, tagolással a fémfázis/magnetit értéke, a fémnikkel, a nikkelszulfid, a primer (?) magnetit mennyisége, továbbá az olivin vas(II)-oxid-tartalma, valamint a hedenbergit és a filloszilikátok hiánya vagy jelenléte alapján a CV-csoporton belül három alcsoportot — 1. redukált (CV_{3_R}); 2. Allende-szerű oxidált (CV_{3_{OXA}}) és 3. Bali-szerű oxidált (CV_{3_{OXB}}) — különített el. Ezen belül a kabai szenes kondritot szintén a CV_{3_{OXB}} alcsoportba sorolta.

KELLER & BUSECK (1989, 1990) a kabai meteoritban a korábbi vizsgálatokkal (FEGLEY & POST 1985, LIU & SCHMITT 1988, LIU et al. 1988) kimutatott Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂ összetételű, de ásványtanilag nem azonosított fázisok, valamint a Mokoia-meteorit változatos összetételű rétegszilikátjai („szaponit, szerpentin, nátriumflogopit” — TOMEOKA &

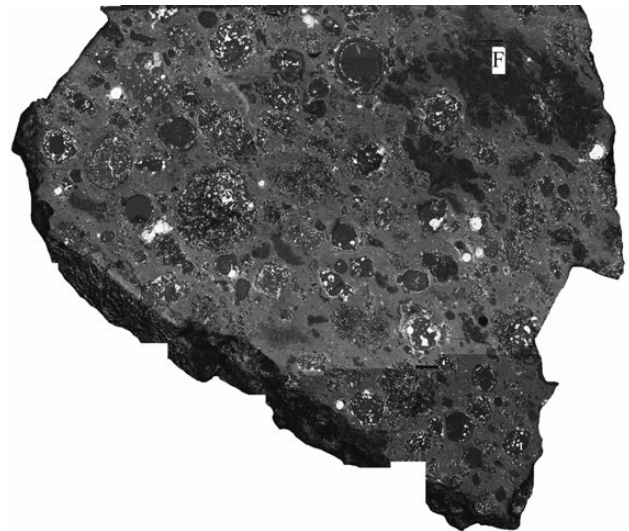
BUSECK 1990) hatására a tevékenységük fő célkitűzése a felsorolt, de nem azonosított kabai ásványok kutatására, feltárására irányult. Pászttázó, valamint transzmissziós elektronmikroszkóppal a kondrumokban — ensztatiton belül, az olivin körül — továbbá az alapanyagban (a mátrixban) egyaránt vas(II)-oxidban gazdag, valamint közepes (átl. 5,04%) és nagy (14,3%) átlagos alumínium(III)-oxid-tartalmú szaponitot mutattak ki. Az utóbbi a Mokoia- és az Allende-meteorit filloszilikátaival megközelítőleg azonos összetételű. A LIU et al. (1988) által közölt — ásványtanilag nem azonosított — mintegy 44% Al_2O_3 -tartalmúhoz hasonló fázist azonban nem észleltek. KELLER & BUSECK (1990) a szaponit mellett egy finomszemcsés spinellből, perovszkitből és kalcium-alumínium-szilikátokból álló refraktorikus zárványt (pontosabban CAI¹-t), továbbá — PECKhez (1984) hasonlóan — ásványtöredékeket, ezeken belül 85–10 százalék fayalitot, az alapanyagban pedig 80–60 százalék forsteritet tartalmazó olivint mutattak ki. HUA & BUSECK (1995) elsőként állapította meg, hogy a kabai szenes kondrit a forsterit mellett tiszta (99,9%) fayalitot is tartalmaz.

FEGLEY & POST (1985) tájékoztatása szerint PECK a WOOD-féle gyűjteményből származó kabai polírozott metszetben nagy méretű, kalciumban és alumíniumban gazdag, finomszemcsés „zárvány”-t (CAI-t) észlelt. Ezt követően FEGLEY & POST a megközelítőleg 3,6×4,7 mm méretű, szabálytalan alakú polírozott mintán az Al-szilikátokat vizsgálták. Ezzel tovább folytatták a PECK által megkezdett, de lényegében befejezetlen kutatásokat. Nevezettek a mintegy 100 µm átmérőjű, gömbszerű, koncentrikus képződményekben a lényeges refraktorikus ásványok jelentős részét — perovszkitot, melilitet (?), spinellt, diopszidot, Ti-Al-piroxént, hedenbergitet, anortitot — kimutatták. A felsorolt ásványok mellett olivint, valamint andraditot, továbbá 1–3% Na_2O -t és 0,2–0,7% K_2O -t tartalmazó, Mg-ban, Al-ban és Si-ban gazdag — ásványtanilag nem azonosított — fázisokat is észleltek. A kémiai elemzési átlagok összehasonlítása alapján lehetségesnek tartják, hogy a jelzett Na–K-tartalmú szilikátok a COHEN et al. (1983) által a Mokoia-meteoritban kimutatott nagy és kis Al-tartalmú (HAP és LAP²) filloszilikátokkal azonosak.

HOLMEN & WOOD (1987) rövid közleményben számos refraktorikus ásványt, többek között szabálytalan alakú forsteritből, „fassaitból és Fe-olivinből (Fa₄₇) álló, szerkezet nélküli” aggregátumokat, továbbá diopszidot, anortitot (stb.) ismertettek — pontosabb kémiai összetétel és képi megjelenítés nélkül.

Az előzmények alapján az erősen heterogén kémiai-ásványi összetételű kabai szenes kondritban (2. ábra) — a rendelkezésünkre álló mintákban — szemcsés hóálló fehérzárvány-halmazokat (white, refractory inclusions), típusos refraktorikus összetevőket (korundot, perovszkitot, gehlenitet, spinellt, kerekded–ovális alakú egységeket, szilikát-fenokristály-társulásokat, uralkodóan sziget- és láncszilikátokból álló kondrumokat, továbbá oxidokból–szulfidokból, oxidokból–fémfázisokból álló kerekded képződményeket, változatos összetételű alapanyagot, ezen belül szerves vegyületeket különböztethetünk meg.

A kabai meteorit fehérzárványaival elsőként SZTRÓKAY



2. ábra. Több tagból álló, összetöredezett, mozaikszerkezetű fehérzárványhalmazokat tartalmazó meteoritrészlet. F = Fehérzárványok

Figure 2. Part of the meteorite containing aggregates of composed, cracked white inclusions with mosaic structure. F = white inclusions

(1959, 1960) és SZTRÓKAY et al. (1961) foglalkoztak. SZTRÓKAY megfigyelése szerint „a meteorit hátsó felületén 2–3 mm széles és 12–18 mm hosszú elnyúlt részek, üvegszerű foltok vannak, amelyeket szürkésfehér, nagyrészt finomszemcsés, részben szálas-rostos kristályos anyag tölt ki. A röntgenelemzés és a mikroszkópos vizsgálat egyező eredménye szerint az együttes legnagyobb része Mg-Al-spinellnek, a meteoritokból eddig ismeretlen kristályos fázisnak bizonyult. A szálas-rostos kisebb résztag pedig ensztatit-kliinoensztatit kíséret.” SZTRÓKAY az általa üregekitöltőnek minősített ásványegyüttest a röntgenemézéseket tartalmazó táblázatban „white inclusion”-ként (1959), valamint „Weisses Mineralaggregat”-ként (1960) szerepeltette.

Az akkori vizsgálati módszerek a refraktorikus, ill. a fehérzárványok pontosabb meghatározását nem tették lehetővé. A különböző szenes kondritokban, főleg az 1969-ben hullott Allende- és a Murchison-, továbbá a Mokoia-, a Vigarano-, valamint az Acker-meteoritban kimutatott változatos összetételű fehérzárványok (hóálló, refraktorikus ásványok) (BLANDER & FUCHS 1975, GROSSMAN & GANAPATHY 1976, COHEN et al. 1983, KORNACKI & WOOD 1984, FEGLEY & POST 1985 stb.) tanulmányozásával csaknem párhuzamosan a vizsgálatokat egyes kutatók (GROSSMAN & GANAPATHY 1976, McSWEEN 1977, FEGLEY & POST 1985, HOLMEN & WOOD 1987 stb.) a kabai szenes kondritra is kiterjesztették. A fehérzárványok legteljesebb, legrészletesebb leírását, értékelését FEGLEY & POST (1985) tanulmánya tartalmazza. Nevezettek megemlítik, hogy a meteoritokban spinellt legelőször SZTRÓKAY et al. (1961, pontosabban: SZTRÓKAY 1959) mutattak ki.

Vizsgálati módszerek

A külföldi kutatók a kabai meteoritot a fődarabtól független kisebb törmelékeken (polírozott metszeteken vagy

vékonycsiszolatokon) tanulmányozták. Mivel a kabai szenes kondrit erősen heterogén szerkezetű és összetételű, a vizsgálati eredmények az egész meteoritra, a főtömegre vonatkozólag nem adhattak teljes információt. Ezzel szemben, vizsgálatainkat a fődarabból származó mintákon, mégpedig a SZTRÓKAY által annak idején rendelkezésünkre bocsátott 20×25 mm méretű polírozott metszeten, valamint kérésünkre 1996 decemberében levágott — mintegy 50 g tömegű — anyagon végeztük. Mindez — meggyőződésünk szerint — újabb értékes adatokkal gazdagította a kabai meteoritra vonatkozó ismereteinket.

Az előzetes, részben tájékozódó jellegű vizsgálatainkat sztereomikroszkóppal kezdtük, majd áteső fényben az 50 g anyagból készült vékonycsiszolaton polarizációs mikroszkóppal folytattuk. Az áteső fényben végzett kiértékelést azonban a meteorit szerves anyaga nagyon megnehezítette, helyenként teljesen lehetetlenné tette. Részben ebből is adódóan egyes alapfeladatokat, szerkezet- és szövetvizsgálatokat, továbbá a kémiai elemzések túlnyomó részét EDAX PV-9800-as energiadiszperzív, valamint MICROSPEC WDX 400-as hullámhosszdiszperzív röntgenspektrométerrel felszerelt AMRAY 1830-as típusú pásztázó elektronmikroszkóppal végeztük. Vizsgálataink során kétféle (20 és 15 keV-os) gyorsítófeszültséget, valamint — a spektrométer típusától függően — 1,0, 1,5, ill. 2,5 nA-es áramerősséget alkalmaztunk. A tájékozódás, a vizsgálatok elősegítése céljából, a tanulmányozott mintákról 40-szeres és 20-szoros nagyítású visszaszórt-elektron-képekből mozaikterképeket szerkesztettünk, amelyek — a polarizációs és sztereomikroszkópi felvételek mellett — nagy (2,77–4,5 cm²) területeken tették lehetővé a jobb tájékozódást, ezáltal a vizsgálati-mérési helyek pontosabb (célirányos) kiválasztását. A térképeken jól látható a meteorit szerkezete, „szöve”, a halmazok (aggregátumok), ill. a

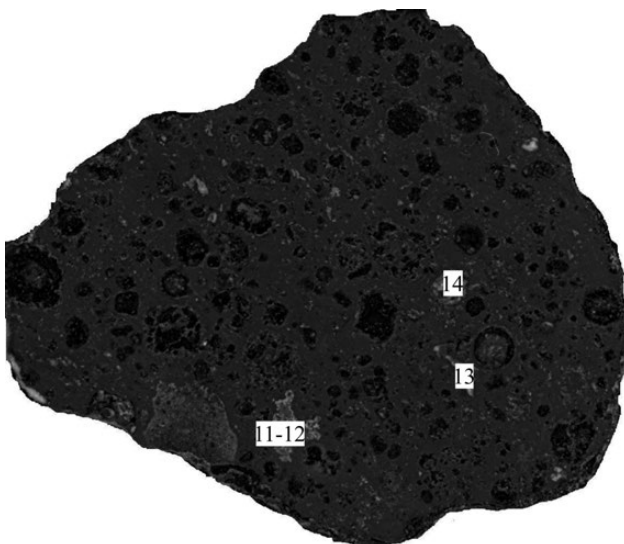
fehérrázványok (a hőálló, refraktorikus ásványok) megjelenési formája, a kondrumok gyakorisága, sokfélesége, jellege, továbbá a változatos összetételű alapanyag-eloszlása és részaránya (1. a 2. és a 3. ábrát). Mindez jelentősen elősegítette a vizsgálatok céltudatos kivitelezését és eredményességét.

Az MTA Műszaki, Fizikai Anyagtudományi Kutatóintézetében Noran Voyager típusú, HPGe-detektoros, EDS-analizátorral felszerelt Philips CM 20-as transzmissziós elektronmikroszkóppal kiegészítő kémiai elemzéseket végeztek. A kvantitatív összetételt kb. 25–50 nm-re vékonyított lemezen 25–100 nm-re fókuszált elektronsugarakkal a Voyager-analizátor vékonyrétegekre kidolgozott (etalon nélküli) programjával, „korrekciós eljárással” határozták meg. A minden spektrumban megjelenő rez- és szénvonalak — a minták előkészítési eljárásából adódóan — a mintatartóból származnak, ezért e két elemet a kiértékeléskor nem vették figyelembe.

Vizsgálati eredmények és értelmezésük

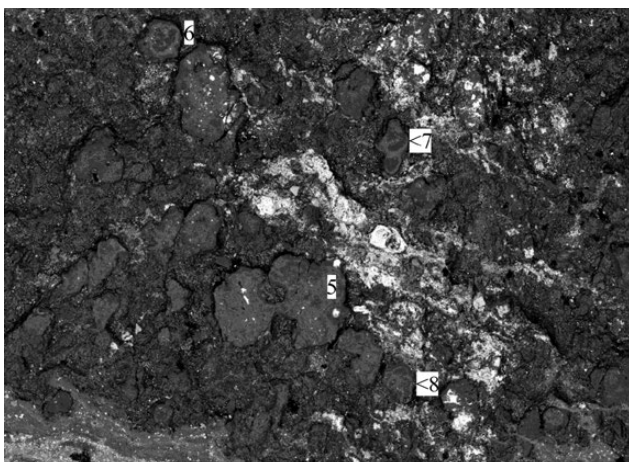
A fehérrázványhalmazok eloszlása, mérete, alakja, szerkezete és szöveve rendkívül változatos. Legértékesebb információkat valószínűleg a fődarab részletesen nem vizsgálható, szabálytalan alakú, többnyire nyúlt, a meteorit felületén, mintegy 10–18 mm hosszú, kissé sárgás színű „zárványai” tartalmaznak (1. ábra). Hasonló, de lényegesen kisebb méretű, feltehetően részben azonos ásványi összetételű fehérrázványhalmazok a rendelkezésünkre álló mintákban is kimutathatók, egyes metszetekben jelentős mennyiségben. Az uralkodóan típusos refraktorikus (hőálló) ásványokból álló képződményeken belül az ásványtársulások összetétele, szerkezete (szöveve) és megjelenési formája alapján uralkodóan közönséges spinellből álló, erősen összetöredezett, mozaikszerkezetű, szemcsés (1. típus, 2. ábra), valamint lényeges összetevőként spinellt-gehlenitet (vagy spinellt-perovszkitot) tartalmazó, rendszerint szabálytalan alakú, többnyire nyúlt, valamint részben kerekded, továbbá kondrumszerű és ovális alakzatú típusokat különböztethetünk meg (2. típus, 3. ábra).

1. típus. A rendszerint több tagból álló, erősen összetöredezett szemcsés halmazok a felsorolt refraktorikus ásványok közül lényeges összetevőként többnyire csak spinellt tartalmaznak. Egyes különböző alakú, különálló, összetett szemcsékben (ásványegyüttesekben, egységekben), a közönséges spinell (MgAl₂O₄) mellett az alumíniumban és titánban gazdag monoklin piroxének, valamint a forsterit is meghatározó mennyiségben szerepelnek. Az ásványegyütteseket többnyire alapanyag jellegű, erősen vegyes összetételű részleg köti össze (4. ábra). Az alapanyag-elegyrészek a különböző alakú, részben a kondrumokra emlékeztető kerekded, vagy kissé nyúlt összetett szemcsékben, valamint a harántoló repedésekben egyaránt megjelennek (5. ábra). A halmazok egyes összetevőiben sajátos felemészési és kiszorítási jelenségek is megfigyelhetők (5. ábra, a, b). Mindez azt valószínűsíti, hogy a meteorit legkorábbi képződésű összetevői, a fehérrázvá-



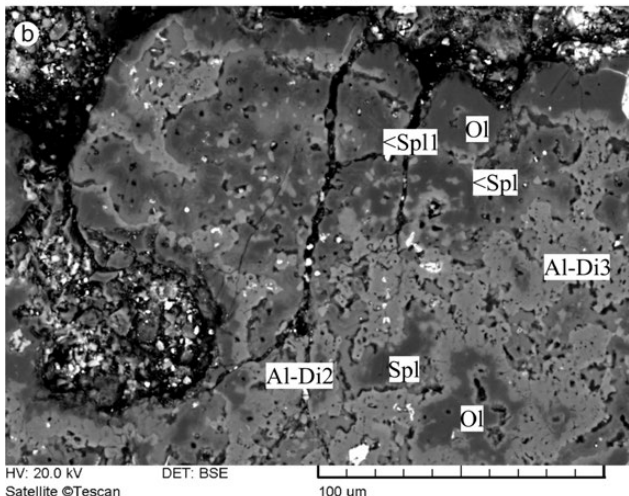
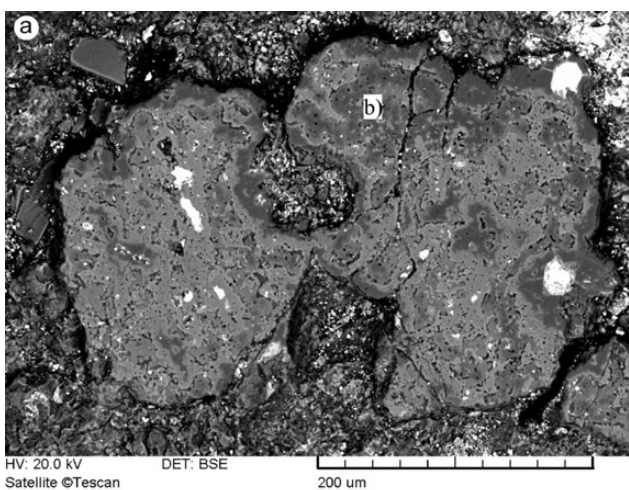
3. ábra. Uralkodóan szabálytalan alakú, többnyire nyúlt, részben kerekded „felhőszerű” fehérrázvány-együtteseket tartalmazó meteoritrészlet. 11–12, 13, 14. ábrák

Figure 3. Part of the meteorite containing predominantly irregular, mostly elongated, partly rounded “cloudy-like” white inclusion assemblages. Figure 11–12, 13, 14



4. ábra. Fehérvány-ásványokból álló – alapanyaggal összekötött – szemcsék. Az 5–8. a soron következő ábrákat jelzi

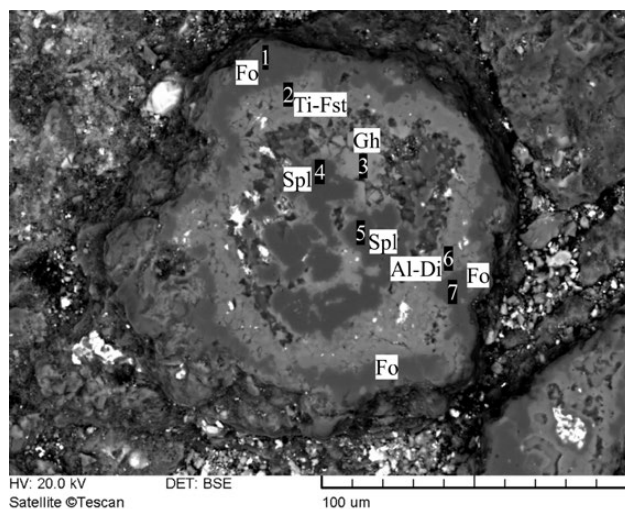
Figure 4. White inclusion minerals connected by groundmass. 5–8 refers to the following figures



5. ábra. a) Fehérványokból álló – részlegesen felemészített – összetett szemcsé. A felemészített részeket (és részben a repedéseket is) alapanyag tölti ki. b) Az a) egy részének nagyított képe. Spl = spinell, Ol = olivin (forsterit), Al-Di2, Al-Di3 = klinopiroxén (Al-diopszid)

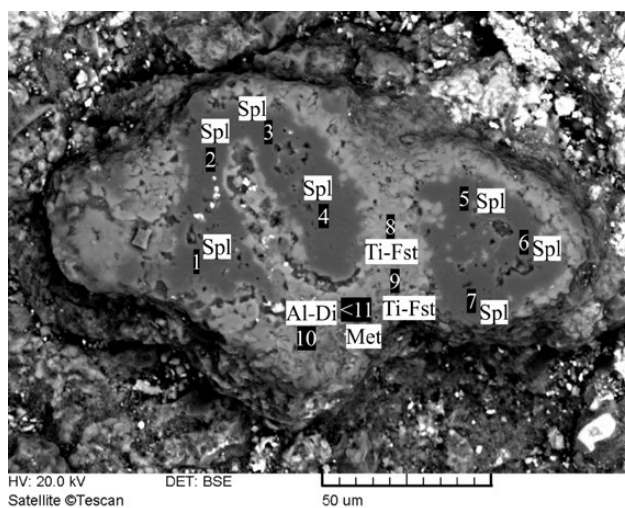
Figure 5. a) Composite grain composed of partly resorbed white inclusions. The resorbed part (and partly the cracks) is filled by groundmass. b) Enlarged part of Figure a. Spl = spinell, Ol = olivine (forsterite), Al-Di2, Al-Di3 = clinopyroxene (Al-diopside)

nyok később összetöredeztek, felmorzsolódtak, s ezzel jelentősen megnőtt a fajlagos felületük, ami elősegítette a különböző kölcsönhatásokat, ill. egyes töredékek, ásvány-együttesek részleges felemészését. Az összetett szemcsék jellegzetesen zónásak, de az övek kémiai és ásványi összetétele heterogén, ill. vegyes (6–9. ábra). A legbelső részt főleg alárendelt mennyiségű titán(III)-, króm(III)- és vas(II)-, részben vas(III)-oxidot tartalmazó közönséges Mg-Al-spinell (1. táblázat), valamint — esetenként, közties fázisként — kevés klinopiroxén alkotja. Egyes szemcsékben



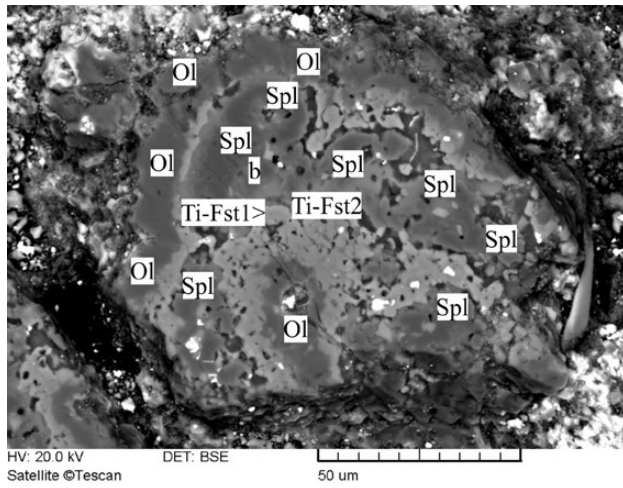
6. ábra. Fehérványásványokból álló zónás kondrumszerű képződmény, összetett szemcsé (egység) 4. és 5. Spl – közönséges spinell ($MgAl_2O_4$), 3. Gh = gehlenit, 2. Ti-Fst = titánfassait, 6. Al-Di = alumíniumdiopszid, 1. és 7. Fo = forsterit

Figure 6. Zoned chondrule-like formation consisting of white inclusion minerals, composite grain (unit). 4 and 5 Spl = spinell ($MgAl_2O_4$), 3 Gh = gehlenite, 2. Ti-Fst = Ti-fassaite, Al-Di = Al-diopside, 1 and 7 Fo = forsterite.



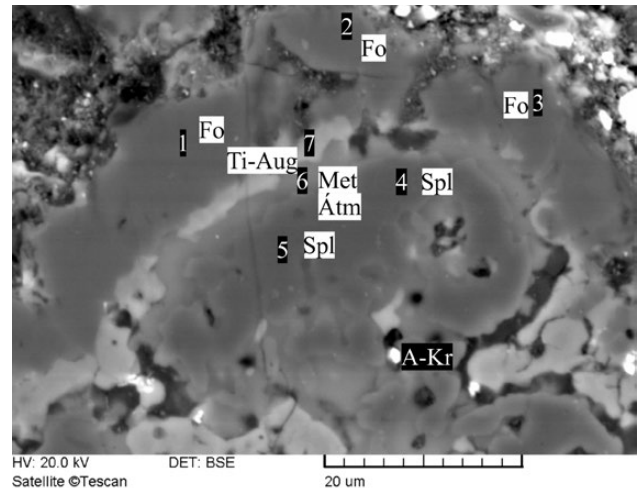
7. ábra. Többszörösen összetett zónás részekből álló, megközelítőleg ovális átmetszetű képződmény – refraktórikus ásványegyüttes. A részegységek magját közönséges spinell alkotja. 1–7. Spl = spinell, 8–9. Ti-Fst = titánfassait, 10. Al-Di = alumíniumdiopszid, 11. Met = valószínűleg kriptokristályos vagy amorf anyag, mezosztázis

Figure 7. Multiply composite oval-like formation composed of zoned parts – refractory assemblage. Core of the parts is spinell. 1–7 Spl = spinell, 8–9 Ti-Fst = Ti-fassaite, Al-Di = Al-diopside, 11. Met = presumably cryptocrystalline or amorphous material, mesostasis



8. ábra. Több zónás részegységből álló kerekded – kondrumszerű – képződmény, ásványegyüttes. A zónás egységek belső részét közönséges spinell (Spl), a köztes részt titánfassaite (Ti-Fst), a legkülső övet pedig olivin (Ol) pontosabban forsterit alkotja. b = 9. ábra

Figure 8. Rounded – chondrule-like – formation, assemblage, containing numerous zoned parts. The inner parts of the zones are spinel (Spl), the intermediated parts are Ti-fassaite (Ti-Fst), while the outer zone is olivine (Ol) more precisely forsterite. b = Figure 9



9. ábra. A 8. ábra b-vel jelölt részének nagyított képe. 4-5. Spl = közönséges spinell, 6. Met, Átm = vegyes, ill. átmeneti összetételű rész, 7. Ti-Aug = titán-augit, 1-3. Fo = forsterit, A-Kr = sok FeO-t tartalmazó amorf-kriktokrystallos (?) anyag (FeO = 51,13, SiO₂ = 7,00, TiO₂ = 0,34, Al₂O₃ = 27,79, MgO = 10,68, CaO = 3,06%)

Figure 9. Enlarged part of Fig. 8 which is marked b. 4-5 Spl = spinel, 6 Met, Átm – composite or rather transitional compositional part, 7 Ti-Aug = Ti-augite, 1-3 Fo = forsterite, A-Kr = FeO-rich amorphous cryptocrystalline (?) material (FeO: 51.13, SiO₂: 7.00, TiO₂: 0.34, Al₂O₃: 27.79, MgO: 10.68, CaO: 3.06%)

I. táblázat. A spinellszerkezetű oxidok tömegszázalékos kémiai összetétele.

Table I. Chemical composition in wt% of spinel group minerals

Ábra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Összesen
5b	-	0,35	68,36	0,43	-	0,71	29,28	0,45	99,58
6/4	-	0,27	64,89	0,48	-	0,42	33,83	-	99,89
6/5	-	0,15	65,15	-	-	0,32	39,53	0,32	105,47
7/1	-	-	69,00	-	-	0,66	30,09	-	99,75
7/2	-	0,26	69,04	0,28	-	0,91	29,25	-	99,74
7/3	-	0,20	65,15	0,45	-	0,52	30,24	-	96,56
7/4	-	0,21	68,10	0,32	-	0,66	29,84	-	99,13
7/5	-	0,15	68,77	0,38	-	0,70	29,90	-	99,90
7/6	-	0,14	68,30	0,38	-	0,54	29,74	-	99,10
7/7	-	0,20	68,47	0,51	-	0,65	30,04	-	99,87
9/4	-	0,65	68,07	1,10	-	0,40	29,82	-	100,04
9/5	-	0,67	67,49	0,73	-	0,39	29,98	0,22	99,48
11/1	-	0,48	69,12	0,13	-	0,21	29,85	0,22	100,01
12/2	0,73	0,29	67,90	0,33	0,29	0,33	29,85	0,57	100,29
13/1	1,32	0,32	67,60	0,26	-	1,39	28,53	0,58	100,00
15/103	0,39	0,31	68,93	0,07	-	0,17	29,98	0,15	100,00
17a/102	1,27	0,03	67,63	0,30	-	0,54	29,10	0,87	99,74
19b/7	0,50	0,41	70,13	0,19	-	0,23	28,28	0,26	100,00
21a/2	-	0,38	67,01	-	-	0,96	31,02	0,40	99,77
21a/3	-	0,37	67,35	-	-	0,67	30,70	0,22	99,31
21a/4	-	0,47	67,99	-	-	0,23	31,32	0,20	100,21
21a/5	-	0,25	67,57	-	-	0,80	31,08	0,06	99,76
21a/6	-	0,31	66,83	-	-	0,94	30,66	0,15	98,89
21c/5	0,45	0,37	66,78	-	-	1,31	30,86	0,29	100,06
23/1	1,06	0,31	69,04	0,34	-	0,96	28,28	0,00	99,99
23/2	0,80	0,28	69,00	0,33	-	1,16	28,25	0,21	100,03
24a/1	-	-	70,41	-	-	2,01	27,58	-	100,00
24a,b/3	-	-	70,62	0,25	-	0,98	28,15	-	100,00

— közvetlenül a spinell mellett — $\text{Ca}_{2,06}(\text{Mg}_{0,32}\text{Fe}_{0,02}\text{Al}_{0,6})$ ($\text{Al}_{0,75}\text{Si}_{1,25}\text{O}_7$ összetételű, mintegy 30 százalék akermanitot tartalmazó gehlenit is kimutatható (6. ábra, II. táblázat). A gehlenit a kondrumszerű képződményekben lényegesen nagyobb mennyiségben szerepel.

sajátos elrendeződése (megjelenési formája) erőteljes és szakaszos utólagos hatást valószínűsít. A közösleges spinell messzemenően a leggyakoribb fehérszárny-alkotó refraktorikus ásvány. A peremektől a mag felé az alumínium(III)-oxid koncentrációja növekszik.

II. táblázat. A gehlenit (melilit) tömegszázalékos kémiai és fázisösszetétele. Az anortit tömegszázalékos kémiai összetétele

Table II. Chemical composition in wt% and phase composition of gehlenite (melilite). Chemical composition in wt% of anortite

Ábra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Összesen	Gh	Ak	Összesen
6/3	26,84	0,05	25,38	0,53	4,48	41,48	98,76	68,17	30,46	98,63
11/1	22,91	0,34	32,71	0,37	4,17	39,49	99,99	87,85	13,88	101,73
12/2	23,38	-	32,89	0,40	3,35	39,98	100,00	88,34	12,85	101,19
15/102	23,09	-	33,86	0,43	2,51	40,11	100,00	90,94	9,75	100,69
16/3	24,08	-	31,50	-	3,25	41,17	100,00	84,61	17,61	102,22
17a/101	25,63	-	32,32	0,86	4,47	36,72	100,00	86,82	15,57	102,39
19b/2	24,50	-	30,46	0,32	2,98	41,73	99,99	81,82	20,16	101,98
21a/7	23,96	-	30,30	-	3,05	41,79	99,10	81,38	20,72	102,10
21a/8	26,68	-	27,12	-	4,10	41,80	99,70	72,84	28,87	101,71
21a/9	26,83	-	26,34	-	4,28	42,12	99,57	70,75	31,28	102,03
22/1	22,61	-	33,28	0,60	2,94	40,57	100,00	89,39	12,74	102,13
Az anortit tömegszázalékos kémiai összetétele										
Ábra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	Összesen		
16/2	42,46	-	36,40	-	-	21,14		100,00		

Geh = gehlenit/ghelinite, Ak = akermanit/akermanite.

A következő övet általában fassait–titánfassait és alumíniumdiopszid (III. táblázat), a legkülsőt pedig többnyire forsterit (IV. táblázat) alkotja. A klinopiroxén összetétele gyakran egy adott övön belül is eltérő. A kétféle összetételű piroxén (diopszid és fassait), egymáshoz közeli megjelenését a Murchison-meteoritban MACPHERSON et al. (1983) is kimutatták. Mindez a fehérszárnyhalmazok nem egyensúlyi kialakulási folyamatára vagy átkristályosodására utal. A legkülső övet alkotó forsterit 0,22–0,58% vas(II)-oxidot — egy-egy példány CaO-t is — tartalmaz.

A fehérszárnyhalmazokat alkotó összetett szemcsékben az övek alakja változatos. Az egymással fogazatszerűen összekapcsolódó részegységek is viszonylag gyakoriak (7–8. ábra). A spinellhalmazok körül különböző ásványokból, főleg Ti-piroxénekből — Ti-augitból, Ti-fassaitból — és Al-diopszidból álló — a WARK & LOVERING által 1977-ben kimutatott, „polisade”-nak elnevezett (in 1982) formával, szerkezettel azonos, vagy ahhoz nagyon hasonló — övek alakultak ki.

A különböző fázisok közötti határ részben elmosódott, az átmenet helyenként folyamatos. Ezt az állapotot az ásványtanilag pontosan nem azonosítható kémiai összetételű amorf–kriptokristályos fázisok (mezosztázisok) is jelzik (7–9. ábra). Az eltérő, változatos összetételű alapanyag-elegyrészek — főleg a szufidok — a szemcséken belül szórta (hintett formában) és részleges repedéskitöltőként is megjelennek.

A fehérszárnyhalmazokat alkotó szemcsék üde refraktorikus ásványai valószínűleg a korai kondenzáció termékei. A későbbi átalakulások–elváltozások, továbbá a kiszorítások–beöblösödések, valamint az alapanyag-elegyrészek

2. típus. Az uralkodóan típusos refraktorikus ásványokból, változó részarányú spinellből, gehlenitből, perovszkitből álló, több metszetben kimutatott fehérszárny-társulásokon belül szabálytalan alakú, nyúlt, hosszúkás, „tömör” halmazokat (a), összetett kerekded, felhőszerű aggregátumokat (b), továbbá többnyire alakatlan, részben „szív” alakú (c), valamint kondrumszerű és ovális képződményeket (d) különböztethetünk meg (1. később a 10. és 14. ábrát).

a) A szabálytalan alakú, nyúlt, hosszúkás „tömör” ásványhalmazokat mintegy 40×100 µm-es méretű, túlnyomó részben típusos refraktorikus (hőálló) ásványokból álló (esetenként zónás szerkezetű) összetett egységek, és 1–35 µm-es méretű, főleg különböző piroxénekből, valamint olivinből — egyes halmazok körül részben spinellből (gehlenitből) — álló köztes anyag alkotja (11–13. ábra). A nagyobb zónás egységek belső része, a magja, a közösleges spinell mellett változó mennyiségű kerekded perovszkitot (IV. táblázat), valamint a következő övben gyakori gehlenitet is tartalmaz. A legkülső övet titántartalmú augit (fassait Fst1), a közvetlen környezetet pedig alumíniumdiopszid–augit, valamint forsterit (Ol) és kevés fayalit (Fa101) alkotja (11–12. ábra). A nagyobb zónás egységek közötti átmenet helyenként folyamatosnak látszik. A köztes anyag a különböző fehérszárny-társulásokban — de esetenként a halmazon belül is — eltérő szerkezetű és összetételű. Például a 10. ábrán jelzett nyúlt halmazban a túlnyomó részben 2–8 µm-es átmérőjű szemcsékből álló részleget zónás spinell–piroxén együttes alkotja. A spinell látványosan megy át piroxénbe (13. ábra), ami lényegében sajátos biner rendszerű olvadék kristályosodására utalhat. A kivált két szilárd fázis kémiai összetételéből

III. táblázat. A piroxének tömegszázalékos kémiai és fázisösszetétele
Table III. Chemical composition in wt% and phase composition of pyroxenes

Ábra	Ásványjelek	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Összesen	En	Wo	Fs	Jh	Tsch	TiPx	TiAlPx	CrPx	Összesen
5b	Al-Di 2	51,30	-	5,53	-	0,45	-	16,66	25,31	99,25	41,50	46,14	0,83	-	11,82	-	-	-	100,29
6	Ti-Fst 2	39,21	6,42	16,11	-	0,80	-	12,91	23,89	99,34	32,15	31,10	1,47	-	16,95	-	19,12	-	100,79
	Al-Di 6	50,61	-	6,70	-	0,33	-	16,91	25,22	99,76	42,12	44,62	0,61	-	14,32	-	-	-	101,67
	Ti-Fst 8	40,96	4,45	16,68	0,19	0,66	-	12,13	24,80	99,87	30,21	32,24	1,21	-	23,26	-	13,25	0,61	100,78
7	Ti-Fst 9	44,57	3,43	13,39	0,18	0,38	-	13,82	24,33	100,10	34,42	35,01	0,70	-	19,02	-	10,22	0,57	99,94
	Ti-Fst 1	44,99	3,12	11,48	-	0,48	-	14,78	24,61	99,46	36,81	37,89	0,88	-	16,05	-	9,29	-	100,92
	Ti-Fst 2	45,33	4,11	11,48	-	1,03	-	14,15	24,44	100,74	35,24	37,56	1,89	-	13,35	-	12,18	-	100,22
9	Ti-Aug 7	44,10	3,28	15,75	-	0,48	-	13,58	12,04	99,23	33,82	25,34	0,88	-	29,22	9,81	-	-	99,07
	Fst 1	48,61	2,53	8,00	-	0,28	-	16,77	23,82	100,01	41,77	38,39	0,51	-	13,65	6,31	-	-	100,63
	Ti-Aug 101	33,67	9,98	21,49	0,26	0,52	-	12,04	22,04	100,00	29,99	21,21	0,95	-	17,93	-	29,72	0,62	100,42
11	Aug 103	52,89	-	3,79	-	2,04	-	21,53	19,75	100,00	53,62	36,61	3,75	-	8,10	-	-	-	102,08
	Al-Di 106	49,81	0,12	7,71	0,11	2,59	-	16,25	23,39	100,00	40,47	39,48	4,76	-	16,17	0,37	-	0,35	101,60
	En 101	59,35	-	-	0,51	0,78	0,22	38,87	0,26	100,00	96,81	-	-	1,21	0,41	-	-	1,66	100,09
12	Ti-Aug 102	38,39	7,00	16,99	0,13	1,07	-	14,21	22,21	100,00	35,39	26,53	1,96	-	17,05	-	20,84	0,42	102,19
	Ti-Aug 103	26,32	16,18	25,60	0,17	0,19	-	8,88	22,66	100,00	22,12	17,63	0,35	-	10,35	-	48,19	0,54	99,18
	Fst 115	49,54	1,54	7,18	0,11	0,38	-	15,49	25,76	100,00	38,58	45,07	0,70	-	11,00	-	4,60	0,35	100,30
15	Al-t-Di 116	52,90	0,32	3,07	-	0,98	-	18,11	24,63	100,00	45,11	47,23	1,80	-	6,12	1,68	-	-	101,94
	Fst 112	47,79	1,76	10,29	-	0,22	-	14,28	25,66	100,00	35,57	40,21	0,40	-	19,75	4,98	-	-	100,91
	Ti-Aug 113	33,26	8,22	23,68	0,29	1,24	-	12,47	20,83	100,00	31,06	15,95	2,28	-	27,81	-	24,48	0,92	102,50
17a	Ti-Aug 114	41,15	3,48	17,15	0,14	3,01	-	13,83	21,24	100,00	34,45	24,36	2,53	-	27,00	-	10,36	0,44	102,14
	Fst (?) 111	49,77	1,25	8,63	-	0,82	-	15,51	24,02	100,00	38,63	39,00	1,51	-	16,75	3,75	-	-	99,64
	Al-Di	51,11	0,50	6,26	-	1,52	-	18,28	22,33	100,00	45,53	38,76	2,79	-	12,71	1,50	-	-	101,29
19b	Al-Di 1	52,16	1,17	4,00	-	0,46	-	16,61	24,89	99,29	41,37	46,15	0,84	-	6,97	3,49	-	-	98,82
	Al-Di (Fst?) 2	51,27	1,74	5,24	-	0,38	-	15,65	25,47	99,76	38,98	45,54	0,70	-	8,88	5,12	-	-	99,22
	Fst 3 (Ti-Fst)	46,87	3,28	10,67	-	0,87	-	14,25	23,93	99,87	35,49	35,03	1,60	-	18,36	9,81	-	-	100,29
21c	Al-t-Di	54,95	-	2,07	-	1,27	-	17,63	24,82	100,74	43,91	48,89	2,33	-	4,43	-	-	-	99,56
	Al-Di 3	52,11	0,20	2,75	-	9,60	0,24	14,56	20,54	100,00	36,26	39,27	17,63	0,44	5,60	0,60	-	-	99,80
	Al-Di 5	52,16	0,53	5,17	-	1,97	-	17,43	22,73	99,99	43,41	40,81	3,62	-	10,34	1,59	-	-	99,77
22	Al-Di 2a	52,21	0,20	3,17	-	5,55	-	16,71	22,15	99,99	41,62	43,35	10,19	-	4,91	0,60	-	-	100,67
	Al-t.Hd 2b	49,82	-	2,60	0,27	16,87	0,25	11,45	18,74	100,00	28,52	35,67	30,98	0,46	5,13	-	-	0,86	101,62
	Al-Di 2c	51,25	0,66	5,19	0,14	1,92	-	18,48	22,35	99,99	46,30	39,81	3,53	-	10,01	1,96	-	0,44	102,05
23	Fst 3	48,34	1,84	7,88	0,15	0,97	-	16,15	24,66	99,99	40,22	42,01	1,78	-	11,59	-	5,58	0,49	101,67
	Aug 4	49,90	1,05	7,00	-	2,59	-	17,22	22,22	99,99	42,89	37,31	1,76	-	13,54	3,15	-	-	101,65
	Aug 5	49,37	1,39	8,13	0,11	1,31	-	16,64	23,05	100,00	41,65	37,41	2,41	-	15,34	4,14	-	0,35	101,30
24a	Al-Di 4	52,73	0,32	4,60	-	8,50	-	17,31	16,55	100,01	43,11	28,81	15,61	-	9,39	0,97	-	-	97,89
	Al-Hd 1	48,13	-	5,50	-	19,04	-	7,12	20,20	99,99	17,73	35,59	34,96	-	11,77	-	-	-	100,05
	Aug	49,46	-	2,83	-	14,85	0,60	11,28	21,08	100,00	28,10	40,46	27,27	-	6,04	-	-	-	101,87

FeO = óxidos-oxid FeO-ban. En = enstatit, Wo = wollastonit, Fs = ferroszilít, Jh = johannsenit, Tsch = tschermakmolekula, TiPx = CaTi(AlSi)O₆, CrPx = CaCr(AlSi)O₆, Aug = augit, Ti-Aug = titánaugit, Di = diopszid, Al-Di = alumíniumdiopszid, Al-t-Di = alumíniumtartalmú diopszid, Fst = fassait, Ti-Fst = titánfassait. A titán (V)iont tartalmazó piroxén (CaMgSi₂O₆-CaTiAl₂O₇) elsőként Fe/Di (1982) mutatta ki. Főleg sok alumíniumot és titánt, de kevés szilíciumot tartalmazó piroxénekben jelenik meg.

FeO = all iron oxides. En = enstatite, Wo = wollastonite, Fs = ferrosilite, Jh = johannsenite, Tsch = tschermakmolekule, TiPx = CaTi(AlSi)O₆, CrPx = CaCr(AlSi)O₆, Aug = augite, Ti-Aug = Ti-augite, Di = Al-diopszid, Al-t-Di = Al-containing diopszid, Fst = fassaitte, Ti-Fst = Ti-fassaitte. The pyroxene which contains titanium (Ti) ions (CaMgSi₂O₆-CaTiAl₂O₇) was traced by Fe/Di (1982) at first. Mainly it can be found in pyroxene containing mostly Al and Ti and a small amount of Si.

IV. táblázat. Az olivin tömegszázalékos kémiai és fázisösszetétele

Table IV. Chemical composition in wt% and phase composition of olivine

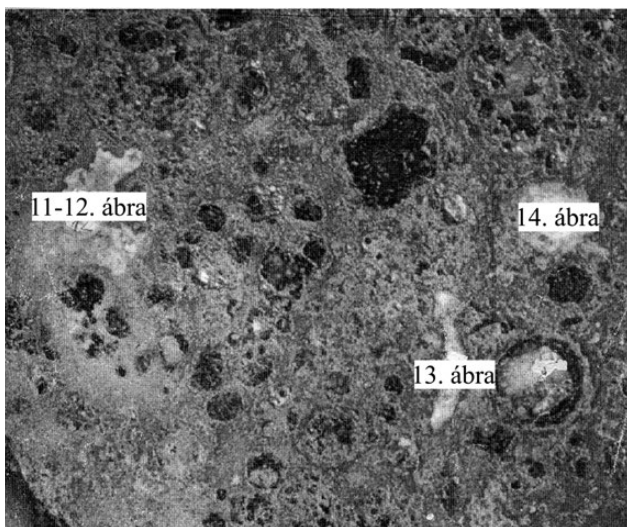
Ábra	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Összesen	Fo	Fa	Tep	OI
6/1 (Fo)	41,95	-	0,58	-	57,73	-	100,26	100,75	0,82	-	101,57
6/7 (Fo)	42,12	-	0,22	-	57,58	0,21	100,13	100,49	0,31	-	100,80
9/1 (Fo)	42,11	-	0,48	-	57,09	0,75	100,43	99,63	0,68	-	100,31
9/2 (Fo)	41,43	-	0,46	-	57,72	-	99,61	100,73	0,65	-	101,38
9/3 (Fo)	42,46	-	0,66	-	57,45	-	100,57	100,26	0,93	-	101,19
11/201 (OI)	41,94	0,14	3,84	0,66	53,07	0,35	100,00	92,62	5,45	0,94	99,01
11/202 (OI)	41,55	0,14	3,97	0,67	53,43	0,24	100,00	93,75	5,63	0,95	99,83
11/203 (OI)	42,27	0,24	1,66	0,68	55,03	0,13	100,01	96,04	2,35	0,97	99,36
11/101 (Fa)	29,98	-	67,06	1,33	1,27	0,35	99,99	2,22	95,10	1,89	99,21
12/204 (OI)	42,26	0,11	2,04	0,80	54,80	-	100,01	95,64	2,89	1,14	99,67
12/205 (OI)	41,30	0,20	6,73	0,64	50,89	0,24	100,00	88,81	9,54	0,91	99,26
12/206 (OI)	41,94	-	3,49	0,72	53,55	0,31	100,00	93,46	4,95	1,02	99,43
12/207(OI)	42,18	-	2,54	0,75	54,37	0,16	100,01	94,89	3,60	1,07	99,56
15/208 (OI)	42,63	0,28	0,59	-	56,00	0,22	99,99	98,20	0,84	-	99,04
23/3 (OI)	34,41	0,27	43,51	0,51	21,08	0,23	100,01	36,79	61,71	0,73	99,23
23/1 (Fa/1)	29,95	-	68,05	0,43	1,57	-	100,00	2,74	96,51	0,61	99,86

Fo – forsterit/forsterite, Fa – fayalit/fayalite, Tep – tefroit/tephroite, OI – olivin/olivine.

is erre következtethetünk. (A spinellszemcsék mérete, eloszlása–elrendeződése a WARK & LOVERING (1982) által az Allende-meteoritban kimutatott, „framboid”-nak minősített, ill. elnevezett „csoportos” spinellre emlékeztet.)

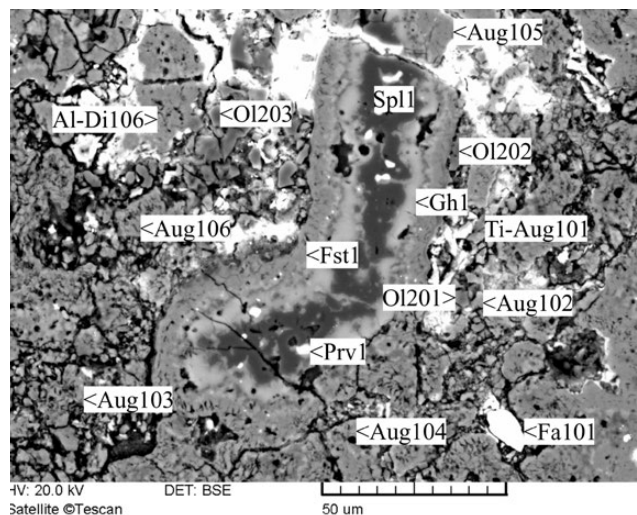
b) Az összetett, kerekded, „felhőszerű” aggregátumokat (14. ábra) kiemelkedően sok gehlenitet vagy spinellt tartalmazó, „részlegesen” kerekded, valamint teljesen szabály-

talán alakú („xenomorf”) részalmazok alkotják. Az uralkodó összetevők aránya a különböző társulásokban (az aggregátumokon belül) erősen eltérő (15–17. ábra). Például



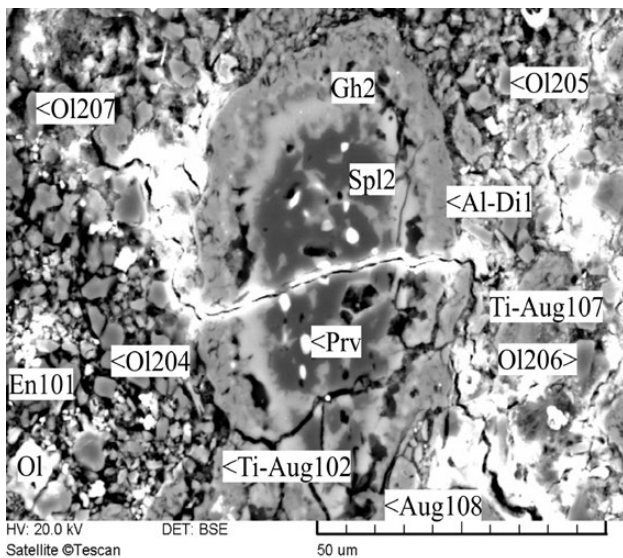
10. ábra. Uralkodóan perovskitból gehlenitből és spinellből álló, különböző alakú fehérzárványhalmazok. (Fehérzárványhalmazokban gazdag meteorit-rész.) 11–12. szabálytalan alakú, 13. nyúlt, 14. kerekded fehérzárványhalmaz (DITRÓI-PUSKÁS Z. felvétele)

Figure 10. White inclusion aggregates with different forms consisting predominantly of perovskite, gehlenite and spinel. Part of the meteorite enriched in white inclusion aggregates. 11–12 irregular, 13 elongated, 14 rounded white inclusion aggregate (photo taken by Z. DITRÓI-PUSKÁS)



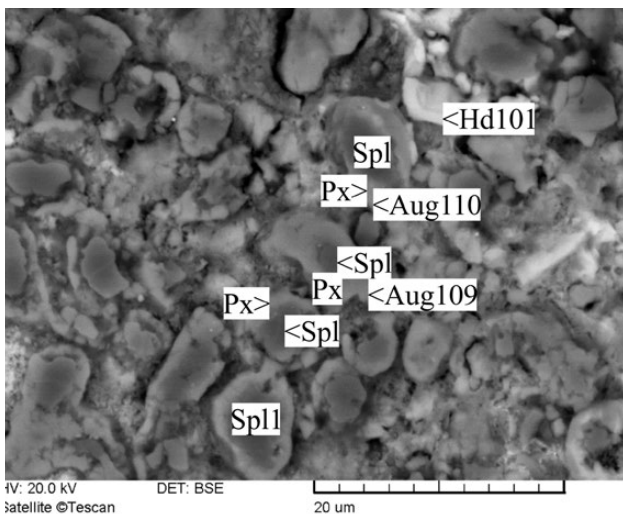
11. ábra. A szabálytalan alakú fehérzárványhalmaz nagyított része. Mintegy 40×150 µm átmérőjű összetett szemcse és környezete. A nyúlt zónás szerkezetű összetett ásványgyűttes spinellből (Spl) és perovskitból (Prv) álló belső részét gehlenit (Gh) övezi, a külső övet főleg fassait (Fst) a környezetét pedig – lényeges összetevőként – túlnyomó részben különböző monoklin piroxének (Ti-Aug = titánaugit, Aug = augit, Al-Di = alumíniumdiopszid), valamint olivin (OI), ill. forsterit (Fo) és kevés fayalit (Fa) alkotják

Figure 11. Enlarged part of irregular white inclusion aggregate. Larger composite grain with roughly 40×150 µm size, assemblage and its surroundings. The core of the elongated zoned assemblage is composed of spinel (Spl) and perovskite (Prv) encircled by gehlenite (Gh), while the outer belt is mainly composed of fassaite (Fst 1), and the surroundings is mainly composed of various clinopyroxenes (Ti-Aug = Ti-augite, Aug = augite, Al-Di = Al-diopside) as well as olivine (OI), or rather forsterite (Fo) and some fayalite (Fa)



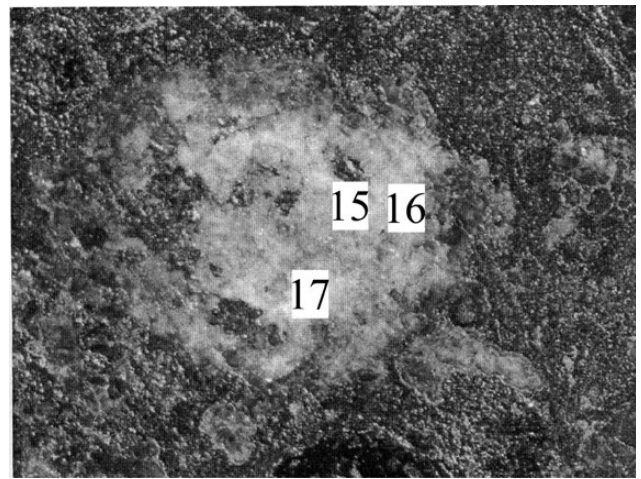
12. ábra. A szabálytalan alakú fehérrészecskék egy részének (10. ábra, 12) erősen nagyított képe. Az előzőtől (11. ábra) eltérő alakú, de lényegében azonos szerkezetű (zónásságú) és összetételű „szemcse” (ásványegyüttes) és törmelékeny környezete. Spl = közönséges spinell, Prv = perovszkit, Gh = gehlenit, Al-Di = alumíniumdiopszid, Ti-Aug = titánaugit, Aug = augit, En = enstatit, Ol = olivin, illetve forsterit

Figure 12. Strongly enlarged part of the irregular white inclusion aggregate (Figure 10: 12). Different in form from that featured in Figure 11, but with equal structure (zoning) and composition of the “grain” (mineral assemblage) and its clastic surrounding. Spl = spinel, Prv = perovskite, Gh = gehlenite, Al-Di = Al-diopside, Ti-Aug = Ti-augite, Aug = augite, En = enstatite, Ol = olivine, or rather forsterite



13. ábra. Nyúlt alakú fehérrészecskék egy részének (10. ábra: 13.) erősen nagyított aprószemcsés részlege. A szemcsék magját közönséges spinell (Spl), a külső övet pedig monoklin piroxén (Px), főleg augit (?) (Aug) alkotja. Az átmenet helyenként folyamatosnak látszik. A peremek felé a piroxén FeO-tartalma kissé növekszik. Az intenzívebben megváltozott (vagy átalakult) részben a hedenbergit (Hd) is megjelenik

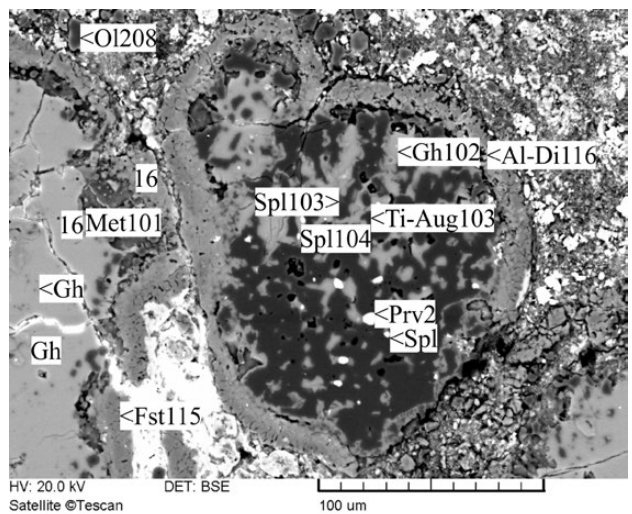
Figure 13. Strongly enlarged part of the elongated white inclusion aggregate (Figure 10: 13). The core of the grains is spinel (Spl), while the outer zone is composed of clinopyroxene (Px), mainly augite (?) (Aug). The transition seems to be continuous in places. The FeO-content of pyroxenes presumably increases towards the rims. In more intensely changed (or altered) part hedenbergite also appears



14. ábra. Kerekded felhőszerű fehérrészecskék. Egyes részeit a 15., 16. és 17. ábra tartalmazza (DITRÓI-PUSKÁS Z. felvétele).

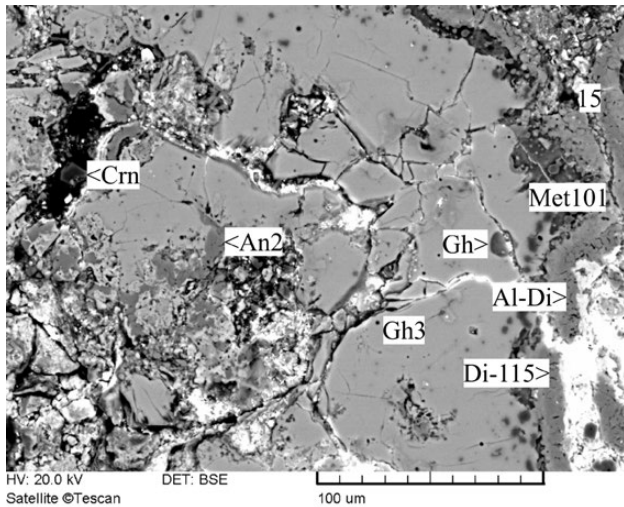
Figure 14. Roundish cloudy-like white inclusion aggregate. Some parts of it are displayed on Fig. 15., 16. and 17. (photo taken by Z. DITRÓI-PUSKÁS)

a 14. ábrán jelzett halmazok kétféle morfológiájú (alakzatú) szomszédos társulása közül egyiket főleg spinell (15. ábra) — és kevesebb gehlenit — a közvetlenül mellette levőt (16. ábra) pedig csaknem kizárólag gehlenit alkotja. Az utóbbiban — a repedésekkel erősen tagolt gehlenitben — az anortit is kimutatható. Az uralkodóan gehlenitből álló részhalmozatok (változatok) sajátos, a környezettől eltérő elemekből álló, a kabai meteoritban mind ez ideig ismeretlen összetételű zárványok is megfigyelhetők (17. ábra, a). A mintegy 5×6 μm-es kerekded zárvány (17. ábra, b) magját főleg



15. ábra. A felhőszerű fehérrészecskék uralkodóan spinellből (Spl), továbbá gehlenitből (Gh102) perovszkitből (Prv), valamint klinopyroxénből álló egysége. A piroxént a belső részekben sok, mégpedig 16,18% TiO₂-t, valamint 25,6% Al₂O₃-at tartalmazó titánaugit (Ti-Aug), a külső övet pedig alumíniumdiopszid (Al-Di) alkotja. Fst – fassait, Ol – olivin (forsterit), Met – mesozstázis. 16 = 16. ábra irány

Figure 15. Unit of the cloudy-like white inclusion aggregate composed mainly of spinel (Spl) as well as gehlenite (Gh), perovskite (Prv), and clinopyroxene. Pyroxene in the centre is Ti-augite (Ti-Aug) with 16.18% TiO₂ and 25.6% Al₂O₃ content, while in the outer zone Al-diopside (Al-Di) alkotja. Fst = fassaite, Ol = olivine (forsterite), Met = mesostasis, 16 = direction of Figure 16



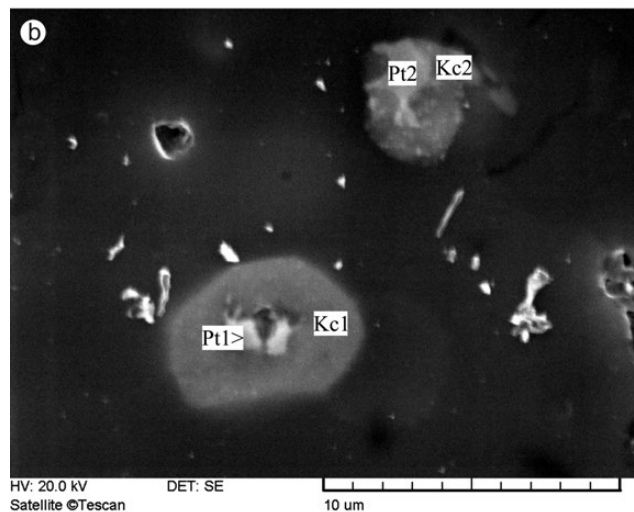
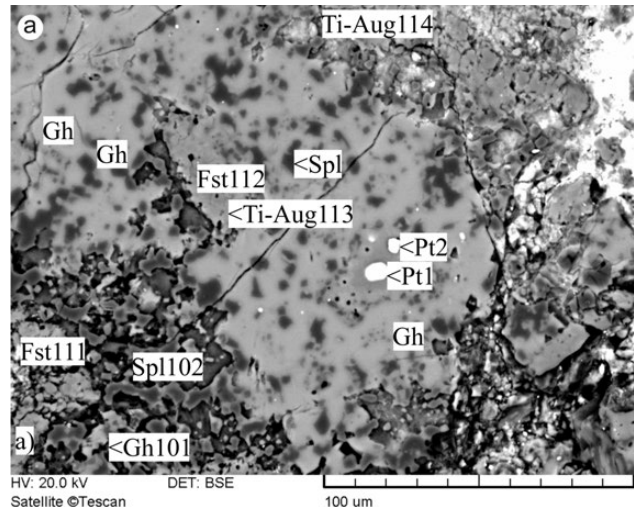
16. ábra. A felhőszerű fehérzárványhalmaz gehlenitből (Gh) álló része. A gehlenitet részlegesen mezosztázis övezi, a legkülső részt pedig a 15. ábrát határoló piroxénnel közvetlenül érintkező – azonos szerkezetű, és összetételű – alumíniumdiopszid alkotja. Kevés anortitot is tartalmaz. Met = mezosztázis, Al-Di = alumíniumdiopszid, Di = diopszid, An = anortit, Crn = korund (?). 15 = 15. ábra iránya

Figure 16. The cloudy-like white inclusion aggregate composed of gehlenite. Gehlenite is partly encircled by mesostasis, while the outermost part is composed of Al-diopside (partly fassaite) with equal structure and composition with the pyroxene found in the outer zone in Figure 15. It contains also some anorthite. Met = mesostasis, Al-Di = Al-diopside, Di = diopside, An = anorthite, Crn = corundum (?), 15 = direction of Figure 15

platina (72,18%), továbbá vas, nikkelt, irídium és kevés (0,71%) hafnium, a külső (Kc1) övet pedig sok vas (65,22%), valamint molibdén, platina, valamint kevés nikkelt alkotja. Ezek szerint a zárvány magjában lévő elemek — főleg a nagy koncentrációjú platina, valamint az irídium — tekinthetők (az adott rendszerben) az első kondenzációs termékeknek. Ezt az is igazolja, hogy a külső (Kc1) övben a platina lényegesen kisebb koncentrációban (mindössze 3,76%) szerepel, az irídium pedig már hiányzik, ill. az alkalmazott módszerrel nem mutatható ki. WARK & LOVERING (1978, 1982) az Allende-meteorit egy Ca-Al ásványában „CaAlI”-ben Pt-, Os-, Ir-, Ru-, valamint Mo-, Re-, és W-tartalmú zárványt mutattak ki. A Murchison-beli ozmiumot és irídiumot némileg más társulásban, azon belül troilitban határozták meg (MACPHERSON et al. 1983). A kőzetes anyagot főleg közönséges spinell, gehlenit, piroxének és olivin alkotják, de helyileg erősen eltérő részarányban. A spinellt — több helyen — gehlenit övezi.

c) A többnyire szabálytalan alakú, kisebb részben „szív alakú” részhalmazok-ásványtársulások (l. a 18. ábrát) általában jellegzetes csoportokat alkotnak (19. ábra, a). A belső részek lényeges, meghatározó ásványa a mintegy 20% akermanitot tartalmazó „spinellzárványos” gehlenit (19. ábra, a, b). A közönséges spinell mennyisége a peremek felé növekszik, helyenként uralkodóvá válik. A legkülső övben — egyes szakaszokon — az alumíniumdiopszid és a fayalit is kimutatható (19. ábra, b).

d) A többé-kevésbé kondrumszerű, részben kerekded-ovális alakzatok (20. ábra) mellett, kevés nagyon kis méretű — mindössze 100–200 μm átmérőjű — gömb alakú,

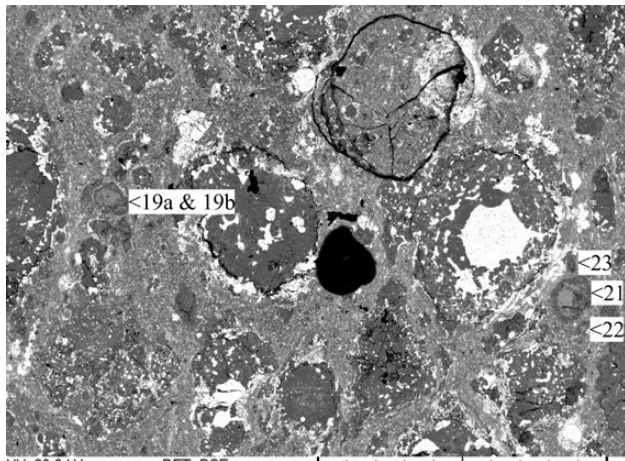


17. ábra. a) A felhőszerű fehérzárványhalmaz uralkodóan gehlenitből (Gh), továbbá spinellből (Spl), valamint monoklin piroxénekből – fassaitekból (Fst) és titánaugitából (Ti-Aug) – álló, erősen törmelékeny részlege. Pt1, Pt2 – platina-tartalmú zárvány. b) A gehlenit zárványként a – kamaciton (Kc) belüli két kis gumóban (Pt1, Pt2) – többek között – jelentős mennyiségű (22,9–72,2 m%) platint, továbbá osmiumot, irídiumot, hafniumot (stb.) is tartalmaz. A zárványok tömegszázalékos összetétele: Kc1 = Fe: 65,22; Ni: 1,58; Pt: 3,76; Mo: 27,82; Ca: 1,61. (Fe:Ni = 97,46:2,54). Pt1 = Pt: 72,18; Ir: 3,79; Hf: 0,71; Fe: 18,08; Ni: 4,60; Pt2 = Pt: 22,94; Os: 5,07; Ru: 5,94; Fe: 35,8; Ni: 25,03; Mo: 5,22

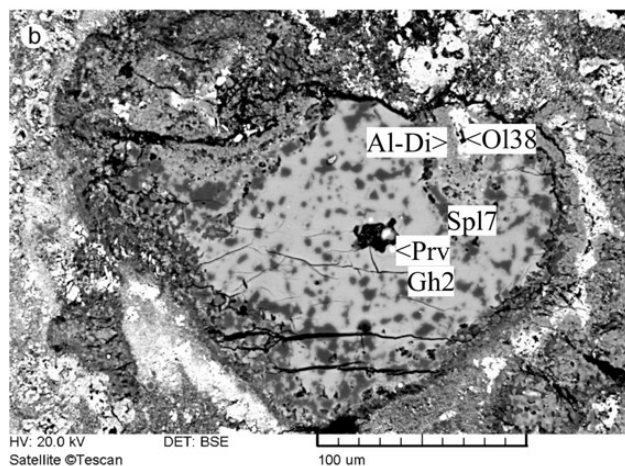
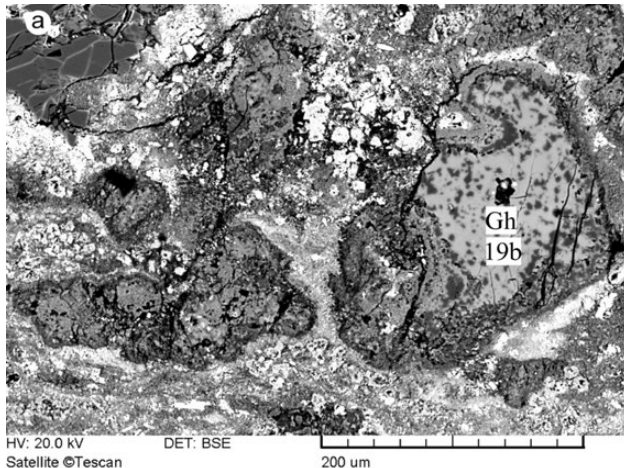
Figure 17. a) Highly clastic part of the cloudy-like white inclusion aggregate composed mainly of gehlenite (Gh) as well as spinel (Spl), clinopyroxenes – fassaite (Fst) and Ti-augite (Ti-Aug). Pt1, Pt2 – Pt-containing inclusion. b) Gehlenite contains kamacite (Kc) inclusion which in turn contains two small nodules (Pt 1, Pt 2) with significant Pt-content (22,9–72,2 wt%), and some Os, Ir, Hf (etc), too. The wt% composition of the inclusions: Kc1 = Fe: 65.22, Ni: 1.58, Pt: 3.76, Mo: 27.82, Ca: 1.61. (Fe:Ni = 97.46:2.54). Pt1 = Pt: 72.18, Ir: 3.9, Hf: 0.71, Fe: 18.08, Ni: 4.60; Pt2 = Pt: 22.94, Os: 5.07, Ru: 5.94, Fe: 35.8, Ni: 25.03, Mo: 5.22

uralkodóan refraktorikus ásványokból álló képződmények is megfigyelhetők.

A kondrumszerű alakzatok (21–22. ábra) jellegzetesen zónás szerkezetűek, a belső részt kevés perovszkitot, valamint helyenként (főleg a peremek közelében) közönséges spinellt is tartalmazó gehlenit alkotja. A szemcsés perovszkit (V. táblázat) és a spinell együtt nagyobb mennyiségben esetenként közvetlenül a gehlenitet borító övben jelenik meg (21. ábra, a, b, c). A szabálytalan alakú, gyakran nyúlt sávokat alkotó spinellkristályok körül, többnyire változó

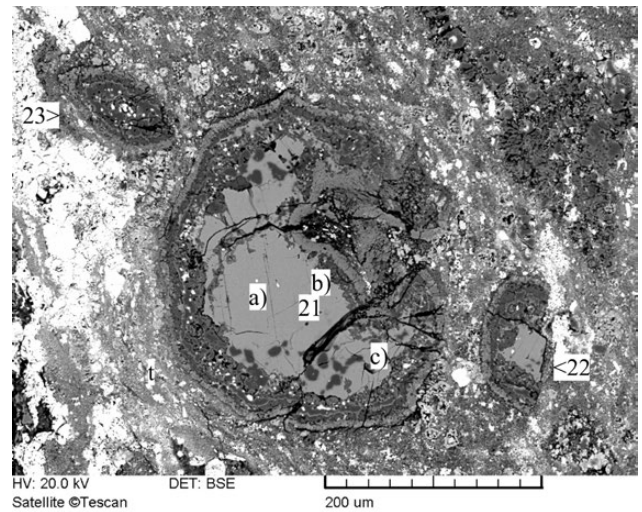


18. ábra. A 19–23. ábrákat tartalmazó meteoritrész (Mgh = maghemit)
Figure 18. Part of the meteorite displayed on Figure 19–23 (Mgh = maghemite)



19. ábra. a) Szabálytalan alakú, de azonos szerkezetű és összetételű – szív alakú – összetett szemcsékből, ásványgyűtesekből álló csoport. Gh = gehlenit, 19b = 19. ábra. b) A csoport (19. ábra) legnagyobb összetett szemcséje. Főleg gehlenit (Gh) és közönséges spinell (Spl) alkotja, de kevés perovszkitot, a peremi részeken pedig alumíniumdiopszidot-augitot (?) (Al-Di), valamint fayalitot (Ol38 = Fa) is tartalmaz

Figure 19. a) Irregular shape – heart forming – group composed of composite grains, assemblages, but with equal structure and composition. Gh - gehlenite. b) The largest composite member of the group. Composed mainly of gehlenite (Gh) and spinel (Spl), with some perovskite (Prv) and – on the rims – Al-diopside (Al-Di), and fayalite (Ol38 = Fa)



20. ábra. Jellemző zónás szerkezetű, kerekded kondrumszerű (21), részben (22) vagy teljesen (23) ovális ásványgyűteseket tartalmazó meteoritrész. 21., 22., 23. = az ábrák száma; a, b, c = nagyított részletek; t = torlódásos öv.

Figure 20. Part of the meteorite containing characteristic zoned rounded chondrule-like (21), partly (22) or perfectly (23) oval mineral assemblages. 21, 22, 23 = Figure number a), b), c) = enlarged parts, t = congestion belt

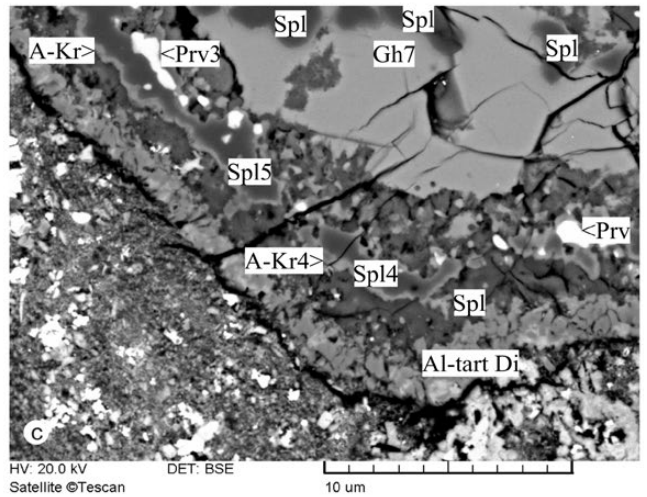
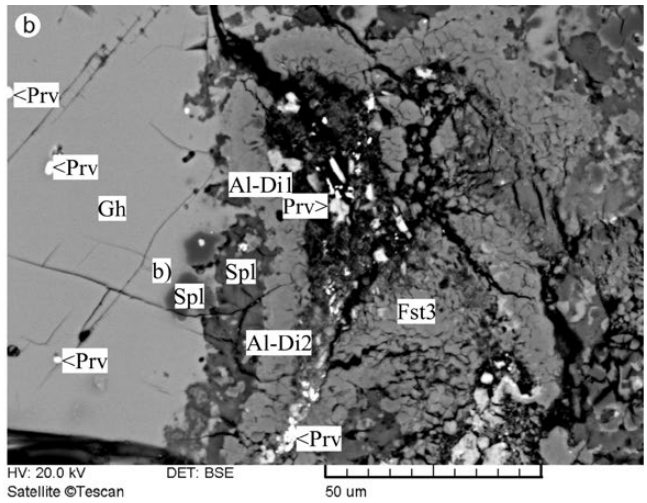
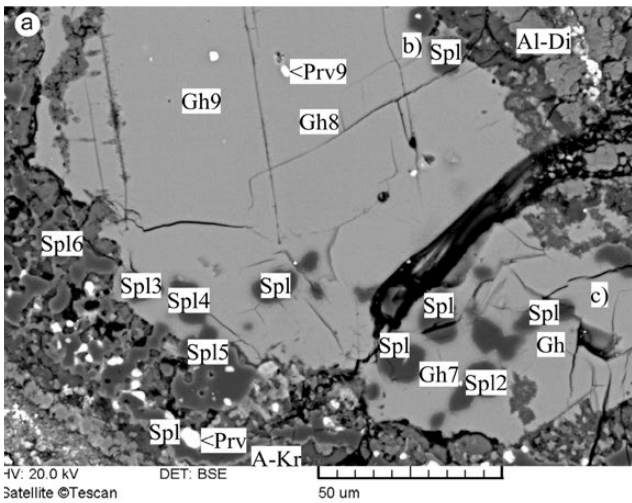
amorf–kriptokristályos fázis alakult ki. Az A-Kr 4 mérés-pont anyaga — 21. ábra, c — TiO_2 4,4%-ot, továbbá 32,2% alumínium(III)-, valamint 26,4% kalcium(II)-oxidot tartalmaz. A helyenként meg–megszakadó — részben a gehlenit-hez és a spinellhez közvetlenül kapcsolódó — külső (kissé zavart) övet túlnyomó részben Al- és Al-tartalmú diopszid, az alapanyag felé eső részt pedig jelentős mennyiségű titánban gazdag augit (fassait) alkotja.

Az előzővel (21. ábra) lényegében azonos szerkezetű és összetételű, kerekded vagy ovális megjelenésű fehérzárvány-képződményben (22. ábra) a középső részt, a magot alkotó gehlenit, valamint a közönséges spinell megközelítőleg azonos mennyiségben szerepel. A spinell körüli övben, a mezosztázis (az amorf–kriptokristályos anyag) is jelentős részarányt képvisel. A legkülső övet — az előző mintában (21. ábra) észleltékhez hasonlóan — Al-tartalmú és Al-diopszid alkotja. Közvetlen környezetében — főleg a kondrumszerű („ovális”) alakzatból hiányzó rész helyén és mellett — viszonylag sok oxidásvány (maghemit?) és pentlandit (Mgh + Pn) mutatható ki. Az ugyancsak jellegzetesen zónás szerkezetű ovális képződmények (23. ábra) belső részét spinell, és — az előzőekkel ellentétben — viszonylag

V. táblázat. A perovszkit (Prv) tömegszázalékos kémiai összetétele

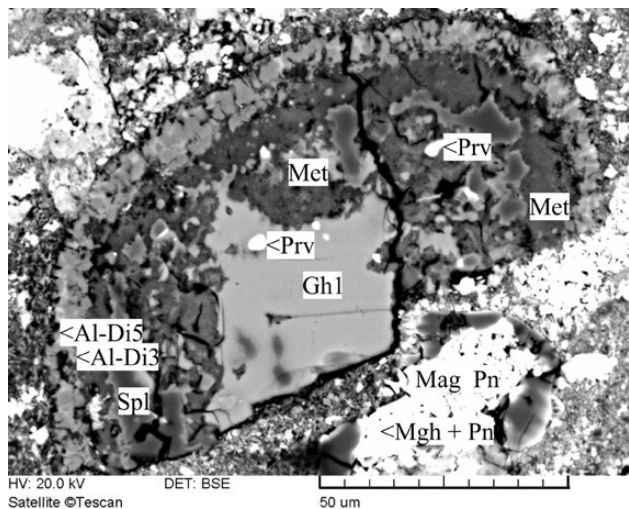
Table V. Chemical composition in wt% of perovskite (Prv)

Ábra	TiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	Összesen
11/1	58,43	–	0,41	41,16	100,00
15/2	58,79	–	–	41,21	100,00
21c/3	58,18	–	–	41,82	100,00
24a/3	57,49	0,78	0,81	40,91	99,99
24a, b/4	58,33	–	1,24	40,43	100,00



21. ábra. A 20. ábra középső, kondrumszerű képződményének nagyított részlegei (a, b, c). a) Gh = gehlenit, Prv = perovszkit, Spl = spinell, Al-Di = alumíniumdiopszid (b) + Al-Di = alumíniumdiopszid, Fst 3 (Ti-Fst) = titán-fassait (c) + Al-tart Di = alumíniumtartalmú diopszid, A Kr = amorf kriptokristályos fázisok, mezosztázis

Figure 21. Enlarged parts of chondrule-like formation in centre of Figure 20 (a, b, c). a) Gh = gehlenite, Prv = perovskite, Spl = spinel, Al-Di = Al-diopside. b) + Al-Di = Al-diopside, Fst 3 (Ti-Fst) = Ti-fassaite. c) + Al-tart Di = Al-containing diopside, A Kr = amorphous cryptocrystalline phases, mesostasis

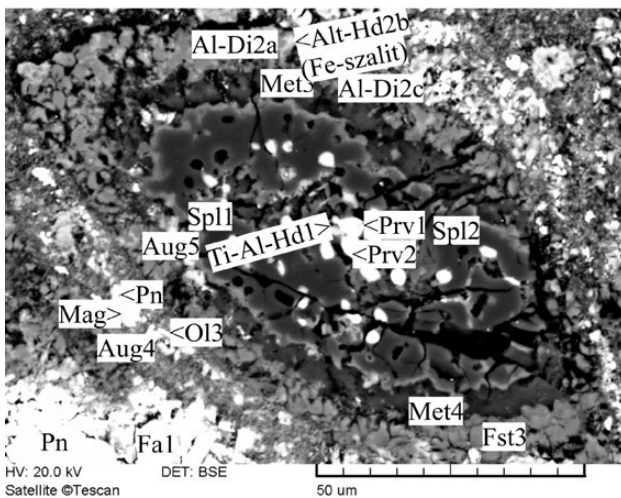


22. ábra. A 20. ábra középső részén látható kerekded alakzattal lényegileg azonos összetételű (részben ovális jellegű), a becsapódáskor, esetleg előtte valószínűleg kettétört (vagy metszetben csak az egyik fele látható) fehérzárvány képződmény. Gh = gehlenit, Prv = perovszkit, Spl = spinell, Al-Di = alumíniumdiopszid, Met = mezosztázis, Mgh + Pn = maghemit + pentlandit

Figure 22. Partly oval-like white inclusion formation probably broken in two (or only one half of it can be seen in the section) during impact or before. It has essentially the same composition within the centre of Figure 20. Gh = gehlenite, Prv = perovskite, Spl = spinel, Al-Di = Al-diopside, Met = mesostasis, Mgh + Pn = maghemite + pentlandite

jelentős mennyiségű perovszkit alkotja. A spinellkristályokat rendszerint vékony amorf–kriptokristályos sáv (mezosztázis) övezi (l. a 21. ábrát is). A változó szélességű — a spinellt övezőtől erősen eltérő összetételű — köztes öv viszonylag sok alkáliát ($\text{Na}_2\text{O} = 6,5$; $\text{K}_2\text{O} = 0,5\%$), valamint 32–35% alumínium(III)-oxidot tartalmazó mezosztázis (VI. táblázat), a vegyes összetételű külső övet pedig főleg monoklin piroxének (Ti-Al-tartalmú hedenbergit, Al-tartalmú hedenbergit, Ti-tartalmú augit, — fassait, — Al-diopszid) alkotják (III. táblázat). A peremi területeken, valamint a környező alapanyagban vasban gazdag olivin (Fa_{54-96}), továbbá pentlandit és magnetit (?) is megjelenik. Ezek szerint az ovális képződmények az előzőeknél alkáliákban és — részben — vasban gazdagabbak. Az amorf–kriptokristályos fázis jelentősebb mennyiségét a kristályosodási képességet erősen csökkentő Na_2O -nak és az FeO -nak tulajdoníthatjuk. Az ovális alakzatok és a környező alapanyag közötti átmenet helyenként folyamatosnak látszik, ami azt jelezheti, hogy helyben keletkeztek, vagy az esetleges becsapódáskor az új környezetben tovább növekedtek.

Az előzőektől jelentősen eltérő felépítésű, mindössze 100–200 μm méretű, három részre (mag, belső és külső öv) tagolható kondrumok (24. ábra) lényeges elegrészként spinellt és perovszkitot, valamint jelentős mennyiségű



23. ábra. Ovális átmetszetű, zónás fehérzárvány-képződmény. Prv = perovszkit, Spl = spinell, Ti-Al-Hd = titán alumíniumhedenbergit (ferroszalit), Alt-Hd = alumíniumtartalmú hedenbergit (ferroszalit), Al-Di = alumíniumdiopszid, Fst = fassait, Aug = augit, Met = mezosztázis, Ol = olivin, ill. fayalit (Fa = 61,7, hortonolit), Fa1 = fayalit (Fa = 96,5), Pn = pentlandit, Mag = magnetit (?)

Figure 23. Zoned white inclusion formation with oval cross section. Prv = perovskite, Spl = spinel, Ti-Al-Hd = Ti-Al-hedenbergite (ferrosalite), Alt-Hd = Al containing hedenbergite (ferrosalite), Al-Di = Al-diopside, Fst = fassait, Aug = augite, Met = mesostasis, Ol = olivine, ill. fayalite (Fa: 61.7, hortonolite), Fa1 = fayalite (Fa: 96.5), Pn = pentlandite, Mag = magnetite (?)

amorf–kriptokristályos anyagot tartalmaznak. Az előzőekben ismertetett kondrumszerű, és ovális képződményektől és általában a kondrumoktól teljesen eltérően, a magot perovszkit, valamint amorf–kriptokristályos anyag alkotja. Ezek szerint a perovszkit az eredetileg sok vasat tartalmazó olvadékból vált ki. Az amorfnak látszó anyag sok, mégpedig 69,9–73,4% alumínium(III)- és 21,2–22,5% vas(II)-, továbbá ~1,2% cink(II)-oxidot, ennek megfelelően 38–40% normatív korundot és 54–57% hercinitet tartalmaz. E sajátos összetételt feltehetően a kiválási hőmérsékletet csökkentő vas jelentős mennyisége eredményezte. Az FeO ugyanis a különböző komponensekkel — főleg az alumínium(III)- és a szilícium(IV)-oxidokkal — az MgO-nál lényegesen kisebb hőmérsékleten alkot kristályfázist. Ebből adódóan a vasban gazdagabb olvadék az adott körülmények között kriptokris-

tályos és/vagy amorf fázisokként merevedik meg. Ennek következtében a kondrum belső részeiben az adott összetételű, de viszonylag kevés CaO-t és TiO₂-t is tartalmazó rendszerben, először a magasabb hőmérsékleten képződő perovszkit vált ki. A szabálytalan alakú mag körüli övet — az MgO és az Al₂O₃ koncentrációjának megfelelően — túlnyomó részben a mindössze 2% vas(II)-oxidot tartalmazó közönséges spinell, továbbá kevés, a peremek felé csökkenő mennyiségű perovszkit, valamint Al₂O₃-ban (5,5–5,7%) viszonylag gazdag diopszid (szalit, ferroszalit) alkotja. McGUIRE & HASHIMOTO (1989) is hasonló összetételű, de mindössze csak 0,6% alumínium(III)-oxidot tartalmazó klinopiroxént, „hedenbergit”-et mutatott ki a kabai meteoritban. A kondrumot borító, főleg amorf fázisokból (kriptokristályokból) álló, az alumínium(III)-, a magnézium(II)-valamint a nátrium(I)-oxid mellett jelentős mennyiségű (8,5%) FeO-t is tartalmazó vékony, fekete kéreg kémiai összetétele megközelítőleg a KELLER & BUSECK (1990) által a kabai meteoritban kimutatott nagy Al- és Na-tartalmú filloszilikátokéval azonos. A fekete kérget főleg ~1–5 μm átmérőjű piroxénszemcsék, mégpedig max. 6,0–9,4% Tschermak-molekulát tartalmazó Al-diopszid és augit övezik. A vas- és alumíniumtartalmú szilikátok (klinopiroxének) a kondrum körüli és közeli alapanyagban is jelentős mennyiségben szerepelnek. Az alapanyag szulfidásványként főleg troilitet és (viszonylag kevés) magnetit is tartalmaz (24. ábra). Ezek szerint az uralkodóan perovszkitből és spinellből álló ovális képződmények–kondrumok (és környezetük is) FeO-ban gazdagabbak, mint az előzőekben ismertetett fehérzárványhalmazok. Mindezek azt jelzik, hogy a kis méretű, kondrumszerű alakzatok alumíniumban, valamint vasban gazdag rendszerben, és viszonylag redukciós környezetben keletkeztek.

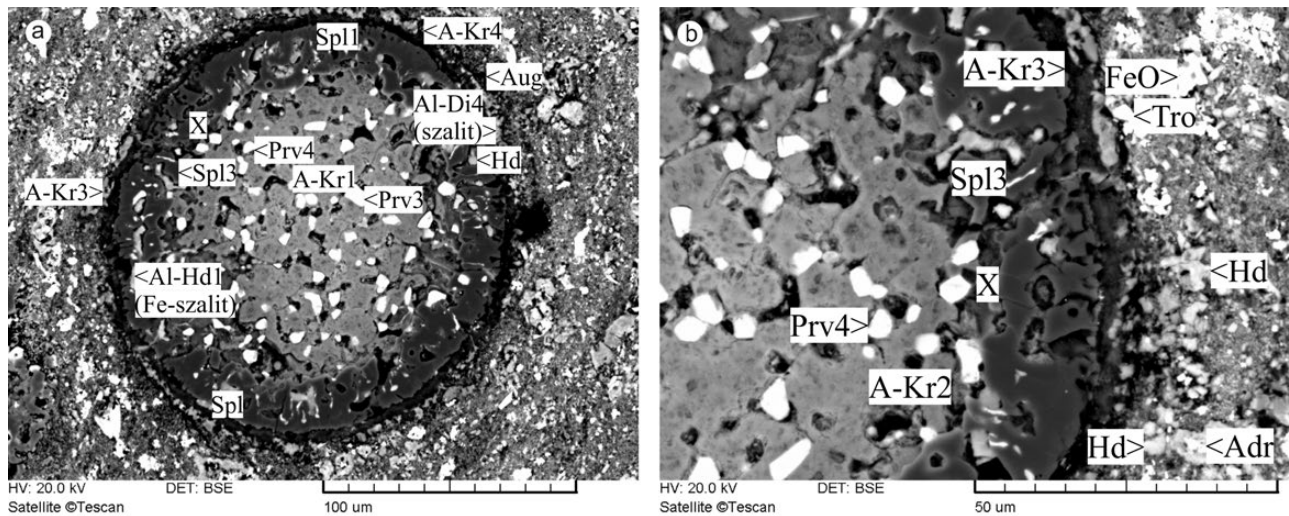
Az MTA Műszaki, Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetében Philips gyártmányú CM 20 típusú transzmissziós analitikai elektronmikroszkóppal — pontelemzéssel — több méréshelyen, korundot is kimutattak (25. ábra). A mintegy 10–20 nm-es szemcsékből álló, 120–800 nm átmérőjű halmazok, és a ~100–200 nm-es „lapos” korundkristályok (26. ábra) helye a mozaiktérképeken, valamint a

VI. táblázat. A mezosztázis (Met) – amorf kriptokristályos anyag (A-Kr) tömegszázalékos kémiai összetétele

Table VI. Chemical composition in wt% of mesostasis (Met) amorphous cryptocrystalline phases (A-Kr)

Ábra	Ásvány jele	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Összesen
9	Met 6	40,78	-	33,11	-	0,40	6,15	19,09	-	-	-	99,53
15	Met 101	24,85	0,44	27,75	0,10	2,23	19,48	6,35	4,70	0,26	-	86,56*
22	Met	26,82	0,21	42,71	-	7,49	14,57	1,81	5,60	0,40	0,37	99,98*
23	Met 3	29,33	0,15	32,21	-	6,16	21,10	2,77	6,44	0,46	1,37	99,99*
	Met 4	29,39	-	34,55	-	5,95	19,28	2,74	6,53	0,49	1,07	100,00*
24a	A-Kr 1	-	0,57	73,74	1,2*	22,50	-	2,29	-	-	-	100,01
24b	A-Kr 2	5,88	0,56	68,41	-	17,80	5,22	2,13	-	-	-	100,00*
24a,b	A-Kr 3	38,56	-	24,04	-	7,94	19,42	3,19	2,18	0,54	0,8	96,63

A csillaggal (*) jelölt minták kén-tiroxidot is tartalmaznak. ** = ZnO. 24a, b (A-Kr): NiO 0,94, SO₃ 2,14, Cl 0,29 = 3,37% + 96,63 = 100,00%. The sample signed by star (*) contain sulphur-trioxide too. ** = ZnO. 24a, b (A-Kr): NiO 0.94, SO₃ 2.14, Cl 0.29 = 3.37% + 96.63 = 100,00%.



24. ábra. a) Három részre (mag, belső és külső öv) tagolható, FeO-ban gazdag 0,1–0,2 mm átmérőjű fehérzárványkondrum

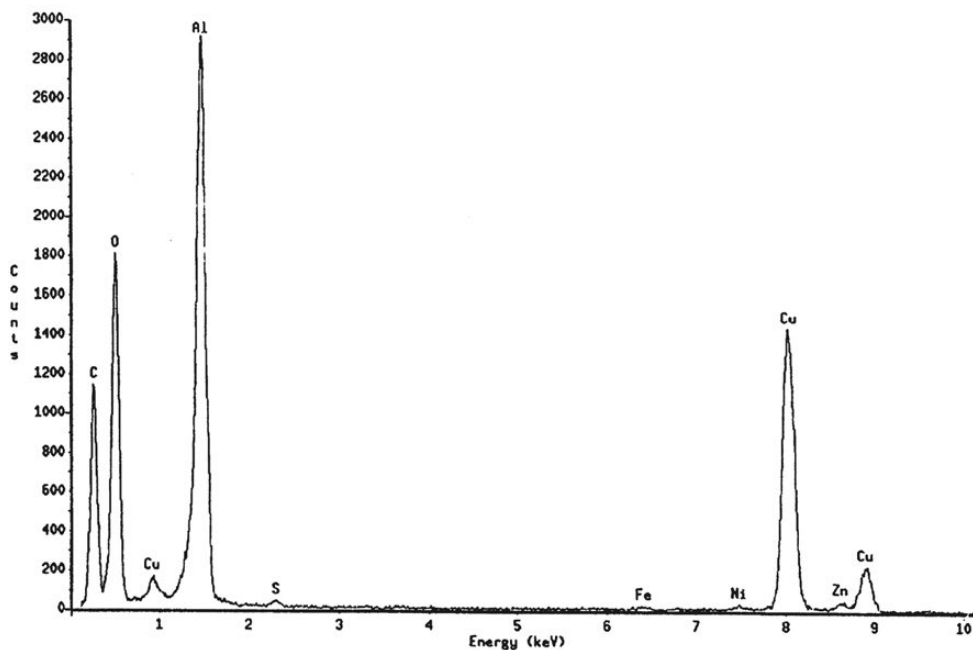
A Kr = amorf kriptokristályos anyag, mesosztázis, Prv = perovszkit, Spl = spinell, Hd = hedenbergit (ferroszalit), Al-Di = alumíniumdiopszid (szalit), Al-Hd = alumíniumhedenbergit (ferroszalit), Aug = augit. b) Nagyított kondrumrész (az x a két ábra azonos pontja). Spl = spinell, Prv = perovszkit, A-Kr = amorf kriptokristályos anyag, mesosztázis, Hd = hedenbergit (ferroszalit), Adr = andradit, Tro = troilit, FeO = magnetit(?)

Figure 24. a) FeO-rich white inclusion chondrule with 0,1–0,2 mm diameter and three-fold zoning (core, inner and outer zone)

A-Kr = amorphous cryptocrystalline material, mesostasis, Prv = perovskite, Spl = spinel, Hd = hedenbergite (ferrosalite), Al-Di = Al-diopside (salite), Al-Hd = Al-hedenbergite (ferrosalite), Aug = augite. b) Enlarged part of the chondrule (x marks the same point on both Fig.). Spl = spinel, Prv = perovskite, A-Kr = amorphous cryptocrystalline phases, mesostasis, Hd = hedenbergite (ferrosalite), Adr = andradite, Tro = troilite, FeO = magnetite(?)

különböző alakzatokat szemléltető ábrákon nem rögzíthető. Ezt az alkalmazott vizsgálati módszerek nem teszik lehetővé. A különböző mérőpontokban kimutatott

korundkristályok egyes mellék- és nyomelemei (például az nikkellel, a cinkkel, a kén, továbbá a kálium) az alapanyagból származtathatók.

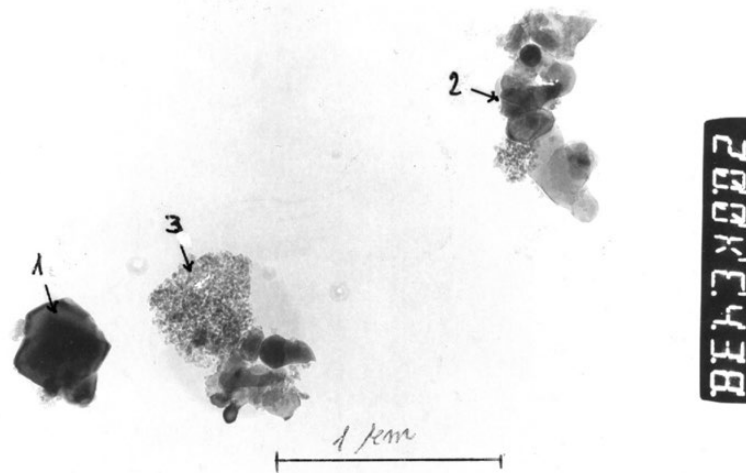


25. ábra. Az MTA Műszaki, Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetében Philips gyártmányú CM 20 típusú transzmissziós analitikai elektronmikroszkóppal készült pontelemzési diagram

A vizsgált minta a mérőpontban 95,3% korundot, továbbá mellék-, ill. nyomelemként vasat (0,42%), cinket (1,57%), szilíciumot (0,56%), valamint nikkelt (0,61%) és ként (0,97%) is tartalmaz. (A réz- és szénvonalak, ill. ennek megfelelő Cu- valamint a C-koncentráció a mintatartóból származnak.)

Figure 25. Point analytical diagram analysed by a Philips CM 20 transmission analytical electron microscope in the Institute of Technical Physics and Materials Science of HAS

The sample in the analysed point contains 95.3% corundum, furthermore 0.42% Fe; 1.57% Zn; 0.56% Si; 0.61% Ni and 0.97% S, as minor or trace elements (The Cu- and C-lines, i.e. the corresponding Cu- and C-concentrations stem from the sample holder.)



26. ábra. Philips gyártmányú CM 20 típusú transzmissziós elektronmikroszkóppal készült felvétel. 1. olivin (hortonolit = fayalit), kb. 300-400 nm átmérőjű „kompakt” egykristály. 2. 83,3% korundot tartalmazó, kb. 100-200 nm-es lapos szemcsékből álló halmaz. 3. kb. 10-20 nm-es méretű szemcsékből álló – 95,3% korundot tartalmazó – halmaz

Figure 26. Photo taken by a Philips CM 20 transmission electron microscope. 1. olivine (hortonolit = fayalite), roughly 300-400 nm diameter “compact” single crystal. 2. Aggregate consisting of 83.3% corundum with flatty 100-200 nm grains. 3. Aggregate consisting of 95.3% corundum with 10-20 nm grains

Következtetések

A változatos megjelenésű, szerkezetű és összetételű fehérvásvány-társulások eltérő forrásanyagból származnak és valószínűleg különböző időpontokban kapcsolódtak a formálódó kozmikus testhez.

A refraktórikus ásványként főleg spinellt tartalmazó, több egységből (összetett szemcséből) álló halmazok (4–9. ábra) feltehetően egy a zárvánnyal azonos összetételű kozmikus test becsapódásakor történt felaprózódásával–összetöredésével keletkeztek. Részben ez eredményezhette a jellegzetes szemcsés szerkezetet. Ugyancsak ezzel magyarázható több halmaz egymáshoz közeli (csoportos) megjelenése, valamint a meteorit meghatározott részeiben történt jelentős koncentrációja. A halmazokon belüli bonyolult öves szerkezetű, esetenként több zónás részt is tartalmazó egységek (összetett, több részből álló, zónás szemcsék) meghatározó, uralkodó alkotója a közönséges spinell. A spinell mellett a kisebb mennyiségű monoklin piroxén, valamint többnyire a külső övet alkotó forsterit is lényeges elegrésznek tekinthető. A gehlenit nyomásványként is csak nagyon kevés halmazon belüli egységben (szemcsében) jelenik meg. Az eltérő összetételű és származású fehérvásvány-együttesekben perovszkit még nyomként sem mutatható ki, a titán a monoklin piroxénokba, túlnyomó részben a Ti-augitba, titántartalmú augitba (Ti-fassaitba, fassaitba) épült be. Mindezek szerint valószínű, hogy az egységek (összetett szemcsék) a becsapódáskor erősen átalakultak, jelentős részben (vagy teljesen) megolvadtak, és a csökkenő hőmérsékletnek megfelelően átkristályosodtak. Ez eredményezte a sajátos zónás szerkezetet, a különböző átmeneti fázisok, ill. a mezosztázis kialakulását.

Az előzőektől eltérő felépítésű és összetételű, többnyire

egyedülálló kompakt fehérvásvány-együtteseket (10., 11–13. ábra) különböző alakú (kerekded, nyúlt) zónás szemcsék és azonos, de eltérő részarányú ásványokból álló köztes anyag alkotja. A túlnyomó részben spinellből álló mag „zárványként” változó mennyiségű perovszkitot is tartalmaz. A gehlenit a mag körül összefüggő övként jelenik meg. Az egységek (szemcsék) forsteritet nem tartalmaznak, a köztes anyagban is csak nagyon ritka nyomásványként mutatható ki.

A kerekded „felhőszerű” aggregátumok (10., 14–17. ábra) uralkodó, messzemenően a legnagyobb részarányú összetevője — a vizsgált minták túlnyomó részében felváltva — a gehlenit és a spinell. Ezekben az alakzatokban a perovszkit csak nagyon ritkán jelenik meg.

A kondrumszerű alakzatok (21–22. ábra) külső övei, de különösen az ovális képződmények (22–23. ábra), valamint a tizedmilliméteres átmérőjű mikrokondrumok (24. ábra) és környezetük — az előzőekben ismertetett fehérvásvány-halmazokhoz viszonyítva kiemelkedően sok összvasat, ill. FeO-t tartalmaznak, és jellegzetesen zónásak. A két lényeges elegrész, a spinell és a perovszkit övekbeli összetétele — a monoklin piroxénkével ellentétben — azonos, változatlan. A különböző ásványok, ill. -változatok arányában azonban már jelentős eltérések észlelhetők. Egyes kondrumszerű, és ovális képződményekben az övszerűen megjelenő amorf-kriptokristályos anyag fázisai („mezosztázis”) viszonylag sok, mégpedig 6–7% alkáliát (Na₂O-t + K₂O-t) is tartalmaznak. Ez, valamint a vas eredményezte a viszonylag alacsony hőmérsékleten történt megszilárdulást, és a szoros környezeti kapcsolatot, a helyenkénti folyamatos átmenetet. Mindez arra utal, hogy az adott képződmények jelenlegi végső formája „lokális” felmelegedés okozta környezeti hatás eredményeképpen alakult ki.

A feltételrendszerrel, főleg a hőmérséklettel, valamint ezzel összefüggésben a felsorolt képződményeket alkotó elemek (oxidok) koncentrációviszonyaitól függően különböző ásványképződési sorrendek alakultak ki.

A felsorolt ásványok eredeti együttes megjelenése főleg a megközelítőleg azonos kondenzációs hőmérsékleti intervallummal, ill. a jelentős átfedésekkel magyarázható. (Kelvin fokban: LATTIMER & GROSSMAN 1978: Prv³ = 1680–1405, Mel³ = 1625–1435, Spl³ = 1635–1385, YONEDA & GROSSMAN 1995: Prv = 1688–1448, Mel = 1628–1444, Spl = 1501–1409). Ezek szerint a kondenzációs viszonyokat, a képződési sorrendet, az adott hőmérsékleti intervallumokon (az átfedéseken) belüli ásványok alkotóinak mennyiségi aránya, ill. a képződési küszöbértékek határozzák meg. Például, amennyiben a szoláris ködben a kondenzáció — a komponensek koncentrációarányának megfelelően — a mintegy 40% CaO-t tartalmazó gehlenit képződésével kezdődik–folytatódik, az adott rendszerben a Ca mennyisége folyamatosan csökken, ami erősen korlátozza a CaTiO₃ összetételű perovszkit kialakulását. Ebben az esetben a Ti a később képződő monoklin piroxénbe, főleg a fassaitba vagy az augitba épül be. A kabai gehlenit 3–4% MgO-t is tartalmaz. Amennyiben az adott rendszerben a Mg (az MgO) koncentrációja ennél nagyobb volt, mennyisége a kondenzáció folyamán növekedhetett meg. Ez tette lehetővé — Al-, ill. Al₂O₃-felesleg esetén — a „melilitképződés” (?) befejező szakaszában a kevés MgO-t is tartalmazó gehlenit és a közönséges spinell együttes megjelenését. A Ti (a TiO₂) ebben az esetben is túlnyomó részben a később képződő monoklin piroxénbe részben az alumíniumdiopszidba, de főleg a titánaugitba–augitba épült be. Ezzel ellentétben, a Mg-ban és Al-ban gazdag, de Si-ban szegény rendszerben a kondenzáció közönséges spinell képződésével kezdődik–kezdődött, ill. folytatódott. Ezáltal a Ca és a Ti koncentrációja folyamatosan növekedett, ami egy adott állapotban a perovszkit, ill. a két fázis egyidejű képződését eredményezte. A kondenzáció későbbi szakaszában, a halmazokat alkotó ásványok között, továbbá a kerekded kondrumszerű

képződményekben — különösen a külső zónákban — a spinellszerkezetű oxidok körül rendszerint főleg normatív spinellből (~25%), gehlenitből (~67,5%) és perovszkitből (~7,5%) álló amorf (–kriptokristályos) fázisok alakultak ki. Az átmenet folyamatosnak látszik (21. ábra, a, c, A–Kr).

A vázolt folyamat főleg a szilárdfázisú kondenzációkra vonatkozik. A kabai meteorit felsorolt refraktorikus ásványai azonban jelentős részben a becsapódáskor keletkezett olvadákból váltak ki. A képződési sorrendet lényegében ebben az esetben is a koncentrációviszonyok, valamint a nyomás és a hőmérséklet határozták meg.

A fehérzárványok általában sok alumínium(III)-oxidot tartalmaznak. Koncentrációja — a perovszkit és a forsterit, ill. olivin kivételével — az összes ásványban jelentős, de a közönséges spinellben (50–71%), valamint a gehlenitben (25,4–32,9%) kiemelkedő. Az utóbbiban az Al₂O₃-tartalom a két szélső tag — a Ca₂AlAlSiO₇ és a Ca₂MgSi₂O₇ — arányától függően változik. Az akermanit aránya 9,75–31,28, átlagban 18,2 százalék (lásd a II. táblázatot). [Ca_{2,05}Mg_{0,20}Fe_{0,01}Al_{0,78}(Al_{0,87}Si_{1,10})O₇–Ca_{1,96}Mg_{0,25}Al_{0,78}(Al_{0,73}Si_{1,27})O₇]

A különböző alakú, zónás szerkezetű képződmények külső öveiben gyakori monoklin piroxének többnyire ugyancsak sok alumíniumot, valamint részben titánt is tartalmaznak (l. III. táblázat). Ennek megfelelően az adott szilikátokban a Tschermak-molekula — a titán koncentrációjától is függően — változó, de általában jelentős részarányt képvisel.

A gyakori összeszövődések miatt a különböző összetételű monoklin piroxének közötti sorrend esetenként nehezen határozható meg, azonban valószínűnek látszik, hogy a fehérzárvány-társulásokban először a Ti-augit (–fassait) alakult ki. Ezt követte a többnyire egyre kevesebb alumínium(III)-oxidot tartalmazó Al-Di (–Di) kiválása.

Végjegyzet:

¹CAI: Ca-Al-rich inclusion

²HAP: High Al-Phyllosilicate; LAP: Low Al-Phyllosilicate

Irodalom — References

- BLANDER, M. & FUCHS, L. H. 1975: Calcium-aluminium-rich inclusion in the Allende meteorite: evidence for a liquid origin. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **39**, 1605–1619. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(75\)90083-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(75)90083-6)
- CLAUS, G. & NAGY, B. 1961: A microbiological examination of some carbonaceous chondrites. — *Nature* **192**, 594–596. <https://doi.org/10.1038/192594a0>
- COHEN, R. E., KORNACKI, A. S. & WOOD, J. A. 1983: Mineralogy and petrology of chondrules and inclusions in the Mokoia CV3 chondrite. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **47**, 1739–1757. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90023-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90023-6)
- FEGLEY, B. & POST, J. E. 1985: A refractory inclusion in the Kaba CV3 chondrite: Some implications for the origin of spinel-rich objects in chondrites. — *Earth and Planetary Science Letters* **75**, 297–310. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(85\)90174-8](https://doi.org/10.1016/0012-821x(85)90174-8)
- FEJDI, P. 1982: The role of Ti⁴⁺ in the crystal structure of pyroxene isomorphous series: diopside (CaMgSi₂O₆) – CaTiAl₂O₆. — *Silikaty* **26/1**, 7–13.
- GROSSMAN, L. & GANAPATHY, R. 1976: Trace elements in the Allende meteorite — II. Fine-grained, Ca-rich inclusion. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **40**, 976–977. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(76\)90145-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(76)90145-9)
- GUIMON, R. K., SYMES, S., SEARS, D. W. G. & BENOIT, P. H. 1995: Chemical and physical studies of type 3 meteorites XII: Metamorphic history of CV chondrites and their components. — *Meteoritics* **30**, 704–714. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.1995.tb01168.x>

- HOFFER, A. 1928: A kabai meteorit története (The history of Kaba meteorite). — *Debreczeni Szemle kiadv.*, 1–15.
- HOLMEN, B. A. & WOOD, J. A. 1987: Refractory inclusions in the Kaba CV3 chondrite. — *Meteoritics* **22**, p. 413.
- HUA, X. & BUSECK, P. R. 1995: Fayalite in the Kaba and Mokoia carbonaceous chondrites. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59**, 563–578. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)00383-w](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)00383-w)
- KELLER, L. P. & BUSECK, P. R. 1989: Aqueous alteration of the Kaba CV3 carbonaceous chondrite. — *Meteoritics* **24**, 284–285.
- KELLER, L. P. & BUSECK, P. R. 1990: Aqueous alteration of the Kaba CV3 carbonaceous chondrite. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **54**, 2113–2120. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90274-o](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90274-o)
- KORNACKI, A. S. & WOOD, J. A. 1984: The mineral chemistry and origin of inclusion matrix and meteorite matrix in the Allende CV3 chondrite. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, 1663–1676. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90335-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90335-1)
- KROT, A. N., PETAEV, M. I., RUSSELL, S. S., ITOHC, S., FAGAND, T. J., YURIMOTO, H., CHIZMADIA, L., WEISBERG, M. K., KOMATSU, M., ULYANOV, A. A. & KEILA, K. 2004: Amoeboid olivine aggregates and related objects in carbonaceous chondrites: records of nebular and asteroid processes. — *Chemie der Erde* **64**, 185–239.
- LATTIMER, J. M. & GROSSMAN, L. 1978: Chemical condensation sequences in supernova ejecta. — *Moon and Planets* **19**, 169–184. <https://doi.org/10.1007/bf00896989>
- LIU, Y. C. & SCHMITT, R. A. 1988: The relative nebular locations for the formation of parental components in the CV3 chondrites, Kaba, Mokoia and Allende. — *Lunar Planet. Sci.* **19**, 684–685.
- MACPHERSON, G. J., BAR-MATTHEUS, M., TANAKA, T., OLSEN, E. & GROSSMAN, L. 1983: Refractory inclusion in the Murchinson meteorite. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **47**, 823–839. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90116-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90116-3)
- MCGUIRE, A. V. & HASHIMOTO, A. 1989: Origin of zoned fine-grained inclusions in the Allende meteorite. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **53**, 1123–1133. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90218-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90218-4)
- MCSWEEN, H. Y. 1977: Petrographic variations among carbonaceous chondrites of the Vigarano type. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **41**, 1777–1790. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(77\)90210-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(77)90210-1)
- MEINSCHEN, W. G., NAGY, B. & HENNESSY, D. J. 1963: Evidence in meteorites of former life. — *Ann. New York Acad. Sci.* **108**, 553–579. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1963.tb13408.x>
- NAGY, B. 1968: Indications of possible biological substances in carbonaceous meteorites. — *J. Astronautical Sci.* **15**, 161–168.
- NAGY, B., MEINSCHEN, W. G. & HENNESSY, D. J. 1961: Mass spectrometric analysis of the Orgueil meteorite: evidence for biogenic hydrocarbons. — *Ann. New York Acad. Sci.* **93**, 27–35. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1961.tb30508.x>
- NAGY, L. A., KREMP, G. O. W., & NAGY, B. 1969: Microstructures approximating hexagonal forms (and of unknown origin) in the Orgueil Carbonaceous Meteorite. — *Grana Palynologica* **9/1–3**, 110–117. <https://doi.org/10.1080/00173136909436428>
- NAGY M. 2008: *A kabai meteorit (The meteorite of Kaba)*. — Debreceni Református Kollégium, Debrecen 5–78.
- PECK, J. A. 1983: Chemistry of CV3 matrix materials and Allende chondrule olivine. — *Abstract, Meteoritics* **18**, 373–374.
- PECK, J. A. 1984: Origin of the variation on properties of CV3 meteorite matrix and matrix clasts. — *Lunar Planet. Sci.* **15**, 635–636.
- RUBIN, A. E. 2012: Impact-induced aqueous alteration of CM and CV carbonaceous chondrites. — *Lunar Planet. Sci. Conference 43rd*, p. 1058.
- SZTRÓKAY, K. I. 1959: The application of X-ray analysis to the study of meteorites. — *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös nominatae, sectio Geologica* **2**, 117–127.
- SZTRÓKAY, K. I. 1960: Über einige Meteoritenmineralien des kohlenwasserstoffhaltigen Chondrites von Kaba, Ungarn. — *N. Jb. Miner.* **94**, 1284–1294.
- SZTRÓKAY K. I., TOLNAY V. & FÖLDVÁRI-VOGL M. 1961: A kabai meteorit (The Kaba meteorite). — *Földtani Közlöny* **91/2**, 186–213.
- TIMOFEEV, B. W. 1963: Lebensspuren in Meteoriten. Resultate einer Microphytologischen Analyse. — *Grana Palynologica* **4/1**, 92–99. <https://doi.org/10.1080/00173136309437862>
- TOMEOKA, K. & BUSECK, P. R. 1990: Phyllosilicates in the Mokoia CV carbonaceous chondrite: Evidence for aqueous alteration in an oxidizing environment. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **54**, 1745–1754. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90405-a](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90405-a)
- TÖRÖK J. 1858: Értesítés a Kaba-debreczeni lebkőről (Announcement about the Kaba-Debrecen meteorite). — *Magyar Akadémiai Értesítő* **6**, 314–318.
- TÖRÖK J. 1882: A Magyar Birodalom Meteoritjai (Meteorites of the Hungarian Empire). — *Magyar Orvosok és Természetvizsgálók 22. vándorgyűlésének Munkálatai* 24 p.
- VAN SCHMUS, W. R. & WOOD, J. A. 1967: A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **31**, 747–765. [https://doi.org/10.1016/s0016-7037\(67\)80030-9](https://doi.org/10.1016/s0016-7037(67)80030-9)
- WARK, D. A. & LOVERING, J. F. 1978: Refractory platinum metals and other opaque phases in Allende Ca-Al-rich inclusion (CAI's). — *Lunar and Planetary Science* **9**, 1214–1216.
- WARK, D. A. & LOVERING, J. F. 1982: Evolution of Ca-Al-rich bodies in the earliest solar system: growth by incorporation. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **46**, 2595–2607. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(82\)90380-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(82)90380-5)
- WOOD, J. A. 1967: Olivine and pyroxene composition on Type II carbonaceous chondrites. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **31**, 2095–2108. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(67\)90144-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(67)90144-5)
- WÖHLER, C. M. 1859: Die organische Substanz im Meteorsteine von Kaba. — *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Wien* **34**, 7–8.
- YONEDA, S. & GROSSMAN, L. 1995: Condensation of CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ liquids from cosmic gases. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59/16**, 3413–3444. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00214-k](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00214-k)