

Krzysztof OWOCKI<sup>1</sup>

# Ameboidalne oliwinowe agregaty w chondrytach zwyczajnych

## Amoeboid Olivine Aggregates in ordinary chondrites

**Abstract:** Amoeboid olivine aggregates (AOA) are the refractory end-member of a family of fine-grained inclusions. They consist of masses of fine-grained (generally forsteritic) olivine crystals with other phases dispersed in between. The AOA are important components of carbonaceous chondrite and have been reported only from the unequilibrated Semarkona LL3.0 ordinary chondrite and examined by author equilibrated Sahara 02500 ordinary chondrite. The AOA's are thought to represent solar-nebula condensates that experienced high-temperature annealing, but largely escaped melting. An amoeboid olivine aggregate found in the equilibrated ordinary Sahara 02500 chondrite has experienced weak planetary metamorphism resulting in equilibration and recrystallization of fine-grained olivine and albitic feldspar. The aggregate contains several fine-grained inclusions consisting of recrystallised fayalitic olivine, feldspar and minor amounts of metal, diopside, chromite, and apatite.

**Keywords:** Ordinary Chondrite; Amoeboid Olivine Aggregate; thermal metamorphism.

## Wstęp

Ameboidalne oliwinowe agregaty (AOA) są najpospolitszym typem inkluzji trudnotopliwych w chondrytach węglistych typów CM, CR, CH, CV, CO. Znalezione je również w niezgrupowanych chondrytach węglistych Acfer 094 i Adelaide (Komatsu i in., 2001; Komatsu i in., 2004). Inkluzje mają rozmiary od kilkudziesięciu mikrometrów do kilku milimetrów. W prymitywnych (nieprzeobrażonych i niezmetamorfizowanych) chondrytach węglistych, inkluzje AOA składają się z drobnodziarnistego (< 15  $\mu\text{m}$ ) forsterytu ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ), niewielkich ilości metalu (Fe-Ni) i pustych przestrzeni porowych. Typowe dla pierwotnych AOA są duże wahania zawartości  $\text{MnO}$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  w oliwinie. Niewielkie inkluzje CAI obecne w ameboidalnych oliwinowych agregatach, składają się z bogatego w glin diopsydu ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), magnezowego spinelu ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) i bardzo rzadkiego melilitu ( $\text{Ca}_2(\text{Mg, Al})[(\text{Si, Al})_2\text{O}_7]$ ). Melilit jest często zastępowany przez drobnodziarnistą mieszaninę Al-diopsydu i anortytu ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) zaś Spinel jest czasami zastępowany przez anortyt.

<sup>1</sup> Instytut Paleobiologii PAN w Warszawie, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

## Efekty metamorfizmu AOA w chondrytach węglistych

AOA przeobrażone lub zmetamorfizowane w CR, CM, CV i CO 3.1-3.9 chondrytach zawierają minerały powstałe z rozpadu lub przeobrażenia pierwotnych składników. Takimi wtórnymi minerałami mogą być: krzemiany warstwowe, magnetyt, węglany, nefelin, sodalit, grossular, wollastonit, hedenbergit i andradyt (Krot i in., 2004). W chondrytach węglistych typu petrologicznego 3.1–3.2 w wyniku działalności fluidów wokół forsterytu narastają obwódki fajalitowe ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) kosztem pustych przestrzeni porowych. Przy wyższym typie petrologicznym następuje również rekrystalizacja oliwinu pod wpływem metamorfizmu termicznego (Sweet i Chizmadia, 2007). Towarzysząca metamorfizmowi dyfuzja wewnątrz ziaren i między nimi, prowadzi do zrównoważenia składu kryształów oliwinu, zaniku porowatości inkluzji i wytworzenia granic między kryształami pod kątem  $120^\circ$  (ang. triple junction boundaries). Pod wpływem metamorfizmu spinel jest wzbogacany w żelazo, natomiast anortyt jest przekształcany w oligoklaz ( $(\text{Na,Ca})(\text{Al,Si})_4\text{O}_8$ ) (Krot i in., 2004; Sweet i Chizmadia, 2007).

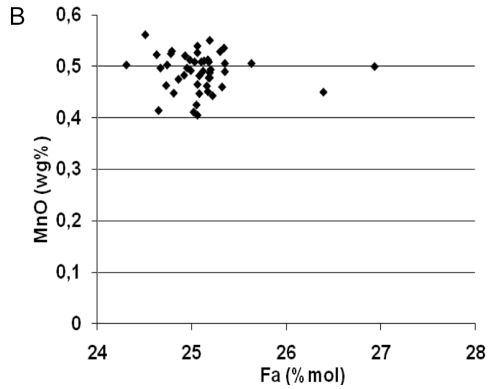
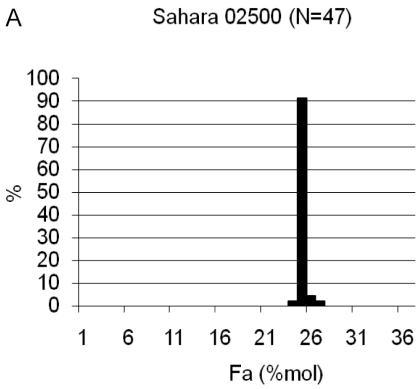
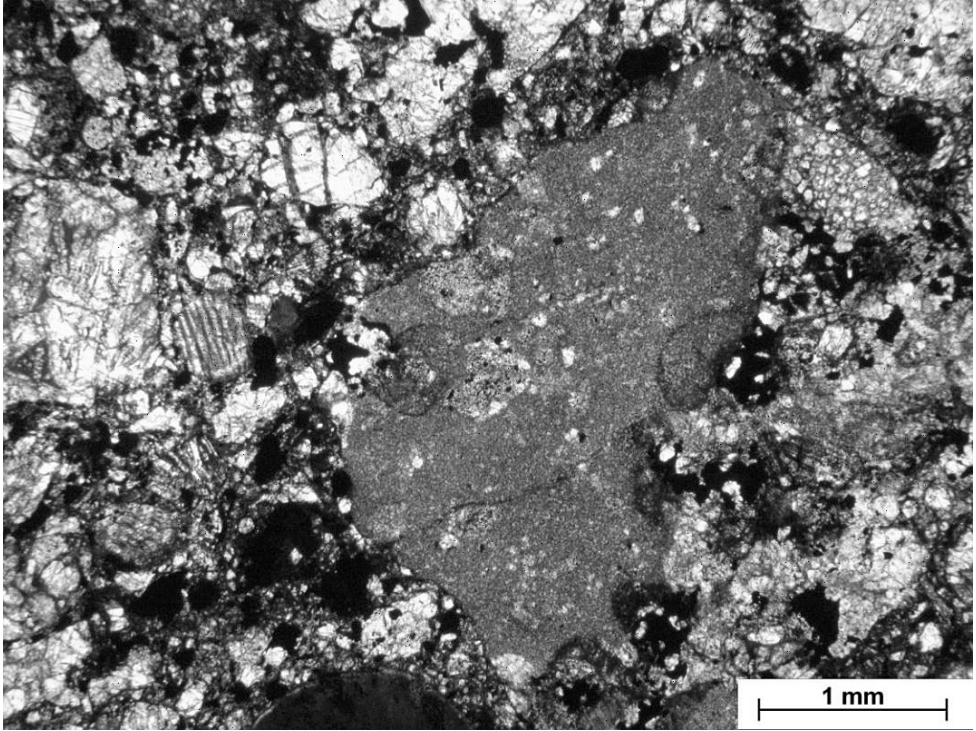
## Inkluzje AOA w chondrytach zwyczajnych

Dotychczas znaleziono inkluzje AOA w dwóch chondrytach zwyczajnych: Semarkona (Itoh i in., 2004) i badanym przez autora Sahara 02500. Trzy porowate inkluzje o rozmiarach 50–300  $\mu\text{m}$ , opisano w chondrycie zwyczajnym Semarkona LL3.0. Składają się one z forsterytowego ( $\text{Fo}_{99-100}$ ) drobnoziarnistego oliwinu (50–80% obj.) i inkluzji CAI tworzonych przez nieregularne przerosty wzbogaconego w wapń i glin (0,5 wt%  $\text{TiO}_2$  ~1 wt%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) diopsydu i anortytu o rozmiarach rzędu kilku/kilkunastu mikrometrów (Itoh i in., 2004).

W chondrycie Sahara 02500 (typ petrologiczny L4) autor znalazł pojedynczą inkluzję (3200×1500  $\mu\text{m}$ ), zbudowaną z drobnych ziaren mineralnych (1–35  $\mu\text{m}$ ), tworzących zbitą strukturę pozbawioną porów (Fig. 1). Dominującą fazą jest oliwin (84,8% obj.), którego ziarna często się ze sobą kontaktują pod kątem  $120^\circ$  i mają zrównoważonym skład ( $\text{Fo}_{73-76}$ ), zgodny ze składem ziaren w chondrach i matriks meteorytu. Nieliczne ziarna wykazują relikty budowy zonalnej lub mają skład wzbogacony w żelazo i mangan (Fig. 2a-b). Oligoklaz stanowi 14,2% obj. natomiast pozostały 1% obj. to drobne ziarna (maks. 5  $\mu\text{m}$ ) stopu Fe-Ni.

Ameboidalny agregat w chondrycie Sahara 02500 zamyka w sobie bardziej zbite skupienia oliwinu (Fig. 3), o średnicy do 500  $\mu\text{m}$ , z pobocznie występującymi Cl-apatytem, ziarnami stopu Fe-Ni, oligoklazem oraz akcesorycznymi Al-diopsydem i chromitem. Diopsyd razem z oligoklazem tworzą zrosty o rozmiarach dochodzących do 20  $\mu\text{m}$ , mogące być relikdami po inkluzjach CAI.

Inkluzja znaleziona w chondrycie zwyczajnym Sahara 02500, uległa słabemu termicznemu metamorfizmowi, jaki miał miejsce na macierzystym obiekcie. Świadczą o tym m.in. brak porowatości, dominacja zrekrystalizowanego bogatego w żelazo oliwinu o zrównoważonym składzie, zastąpienie anortytu bogatym w sód oligoklazem oraz powszechne  $120^\circ$  granice między kryształami oliwinu. Podobne



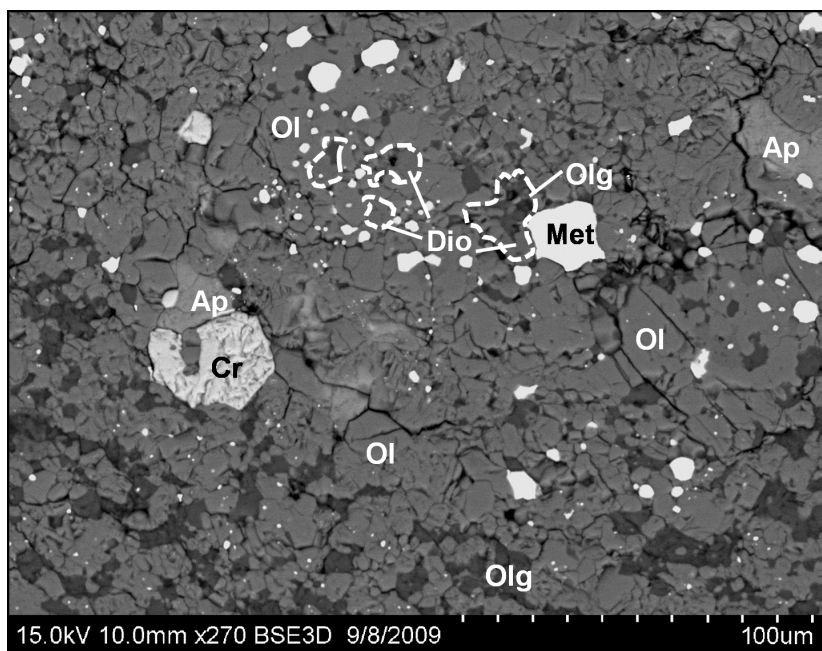


Fig. 3. Obraz BSE oliwinowego agregatu z inkluzjami CAI (linie przerywane) w chondrycie zwyczajnym Sahara 02500. Objaśnienia Ol – oliwin, Olg – oligoklaz, Cr – chromit, Ap – apatyt, Dio – diopsyd, Met – przerosty kamacytu i taenitu

wg klasyfikacji Van Schmus i Wooda (1967), charakteryzującego się m.in. zrównoważonym składem oliwinu w całym meteorycie (w przypadku Sahary 02500 również w inkluzji AOA) oraz obecnością oligoklaz. Anomalne ziarna oliwinu wzbogacone w Mn i Fe, najprawdopodobniej zawdzięczają swój skład dyfuzji jonów z sąsiadującymi z nimi kryształami akcesorycznego chromitu.

W przeciwieństwie do Sahary 02500, inkluzje AOA w chondrycie Semarkona, posiadają pierwotny skład i strukturę, typowe dla agregatów znanych z niezmetamorfizowanych chondrytów węglistych (Itoh i in. 2004). Świadczą o tym m.in. obecność anortytu, niska porowatość inkluzji AOA, brak bogatego w żelazo oliwinu i innych minerałów wtórnych (Itoh i in., 2004).

## Wnioski

Inkluzje AOA w chondrytach zwyczajnych mają skład zbliżony do swoich odpowiedników w chondrytach węglistych. Dzięki swojej drobnoziarnistej strukturze i specyficznemu składowi są dobrymi wskaźnikami planetarnego metamorfizmu ciał macierzystych dla chondrytów. Inkluzje znalezione dotychczas w chondrytach zwyczajnych prezentują dwa skrajne stadia ewolucji AOA w ciele macierzystym. Agregaty opisane przez Itoh i in. (2004) w chondrycie Semarkona mają pierwotny skład i strukturę, natomiast znaleziona przez autora inkluzja w chondrycie Sahary 02500, została metamorficznie w pełni przeobrażona na swoim ciele macierzystym.

Podziękowania dla Andrzeja Piskiego za udostępnienie do badań okazu chondrytu Sahara 02500 oraz dla Tadeusza Przylibskiego za uwagi, które pomogły ulepszyć ten artykuł.

## Literatura

- Itoh S., Russell S.S., Yurimoto H. 2004. Amoeboid olivine aggregates from the Semarkona LL3.0 chondrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68: Supplement A766.
- Komatsu M., Krot A.N., Keil K., Kasama T., Tachikawa O., Ulyanov A., Miyamoto M. 2001. Mineralogy and petrology of amoeboid olivine aggregates from Efremovka, Leoville, Vigaraño and Allende. *Meteoritics & Planetary Science* 36: Supplement A103.
- Komatsu M., Krot A.N., Mikouchi T, Tagai T, Miyamoto M., Keil K. 2004. Amoeboid olivine Aggregates in the NWA 760 CV3 chondrite. *Lunar and Planetary Science XXXV*: abstract no 1537.
- Lindsley D.H. 1983. Pyroxene thermometry. *American Mineralogist* 68: 477–493.
- Sweet A., Chizmadia L. 2007. Using Fe and Mg in olivine as an indicator of asteroidal hydrothermal alteration. *Bulletin of the American Astronomical Society* 38: 203–226.
- Van Schmus W.R., Wood J.A. 1967. A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 31, 747–765.
- Krot A.N., Petaev M.I., Russell S.S., Itoh S., Fagand T.J., Yurimoto H., Chizmadia L., Ulyanov A.A., Keil K. 2004. Amoeboid olivine aggregates and related objects in carbonaceous chondrites: records of nebular and asteroid processes. *Chemie der Erde* 64, 185–239.