

Lukasz KARWOWSKI¹, Andrzej MUSZYŃSKI², Ryszard, KRYZA³, Andrzej S. PILSKI⁴

**POLIMINERALNE NODULE W GRUBOZIARNISTYM METEORYCIE
MORASKO**
POLYMINERAL NODULES IN COARSE-GRAINED MORASKO METEORITE

Abstract: Morasko meteorite (IAB octahedrite) contains numerous graphite-troilite inclusions. Within these inclusions, many mineral phases have been found, including native elements, sulphides, tellurides, oxides, phosphates and silicates. Apart from dominant graphite and troilite, the following minerals occur: copper, sphalerite, daubreelite, chromite, cosmochlor, enstatite, albite and orthoclase; phosphates (buchwaldite and brianite) are found occasionally, whereas djerfischerite, altaite, olivine and silica are rare. The mineral composition of the nodules suggests a more complex origin of the Morasko-type meteorites than currently assumed.

Keywords: Morasko iron IAB meteorite, troilite, graphite, sulphides, altaite, oxides, silicates

WSTĘP

Żelazny meteoryt Morasko, należący do klasy IAB, jest znany od roku 1914. W ostatnim czasie zostały znalezione nowe okazy, włączając w to okaz ważący 164 kg (Fig. 1 i 3), znaleziony w roku 2006 (Muszyński & Socha 2006). W nowych okazach występują nieregularnie rozmieszczone owalne inkluzje (Fig. 2), które zbudowane są głównie z troilitu i grafitu, często otoczone przez schreibersyt i cohenit. Stwierdzono także wiele innych akcesorycznych minerałów w tych inkluzjach: miedź, sfaleryt, daubreelit, djerfischeryt, altait, chromit, buchwaldyt, brianit, whitlockit, kosmochlor, enstatyt, kosmochlor-augit, oliwin, albit., ortoklaz i niezidentyfikowana faza krzemionki (Dominik 1976, Muszyński et. al. 2001, Karwowski & Muszyński 2008). Okaz Moraska ważący 164 kg jest największym dotychczas znalezionym meteoritem na terenie Polski. Obecnie istnieje możliwość wykonywania z niego replik (Fig. 4).

MATERIAŁ BADAWCZY I METODY ANALITYCZNE

Ponad 20 współcześnie znalezionych okazów meteorytu Morasko zostało przeciętych na połowy, z których wybrano 50 fragmentów zawierających inkluzje grafitowo-troilitowe. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem mikroskopów do światła odbitego. Wstępne badania identyfikacyjne wykonano na mikroskopie skaningowym Philips XL 30 ESEM/TMP z przystawką analizującą EDAX na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego. Dokładne oznaczenia składu chemicznego wybranych minerałów wykonano z wykorzystaniem mikrosondy elektronowej Cameca SX 100 w Międzyinstytutowym Laboratorium Mikroanalizy na Wydziale Geologii UW.

¹ Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec.

lkarwows@us.wnoz.edu.pl

² Uniwersytet im. A. Mickiewicza. Instytut Geologii. Ul. Maków Polnych 16. 61-606 Poznań.

anmu@amu.edu.pl

³ Wrocław Univeristy, Institute of Geological Sciences, Department of Mineralogy & Petrology, ul. Cybulskiego 30, 50-205 Wrocław, Poland. rkryza@ing.uni.wroc.pl

⁴ Skr. Poczтовая 6. 14-530 Frombork. aspmet@wp.pl



Fig. 1. Największy meteoryt Polski - surowy okaz meteorytu Morasko, ważący 178.5 kg przed oczyszczeniem (ołówek dla skali).



Fig. 2. Największy okaz meteorytu Morasko, oczyszczony, przecięty i wytrawiony. Widoczne struktury Widmanstatta oraz liczne nodule troilitowe i troilitowo-grafitowe.



Fig. 3. K. Socha ze znalezionym przez siebie największym okazem meteorytu Morasko.



Fig. 4. Dwie połówki formy silikonowo-żywicznej, dające możliwość wykonywania repliki z największego okazu meteorytu Morasko.

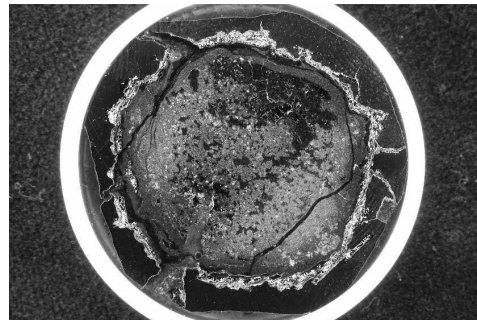


Fig. 5. Nodula troilitowo-grafitowa (ok. 4.5 cm średnicy) tkwiąca w kamacycie i zatopiona w żywicy.

WYNIKI I DYSKUSJA

Nodule troilitowe lub troilitowo-grafitowe są nierównomiernie rozmieszczone w obrębie poszczególnych brył meteorytu (Fig. 2). Praktycznie większość nodule posiada obwódki cohenitowo-schreibersytowe. Grubość obwódek jest zmienna. Do rzadkości należą nodule pozbawione takiej otoczki. Same nodule są różnej wielkości i różnią się

między sobą kształtem. W przekrojach przeważają kształty koliste (Fig. 5) lub eliptyczne. We wszystkich nodulach stwierdzono występowanie dwóch minerałów troilitu i grafitu. Ich wzajemne stosunki ilościowe są zmienne. W niektórych nodulach minerały te występują w różnych ich częściach. Troilit występuje w dwóch formach: gruboziarnistej i drobnoziarnistej. Dostyć często tworzy przerosty z grafitem. Najczęściej w tle grafitowym tkwią drobne wydzielienia troilitu. Skład troilitu jest zmienny, ale głównie w zawartościach takich pierwiastków jak chrom i nikiel. W obrębie troilitu stwierdzono występowanie nierozróżnialnej mikroskopowo fazy pirotynu (FeS) (Dziel et al. 2007). Troilitowi towarzyszy zazwyczaj daubreelit (FeCr_2S_4) (Fig. 6), występujący w postaci drobnych wydłużonych wydzieleni w obrębie gruboziarnistego troilitu. Niektóre z form daubreelitu przypominają produkty odmieszania. W zewnętrznych częściach nodulek lub w okolicy ziaren grafitu lub sfalerytu pojawiają się bardziej izometryczne, większe ziarna daubreelitu. Kolejnym pospolitym minerałem siarczkowym w nodulach jest sfaleryt. Występują dwie odmiany: bogata w Fe i w Mn (odpowiednio 19-20 % at. i 0.3-4,05 % at.) oraz uboga w Fe. W bogatych w żelazo sfalerytach obserwuje się czasem struktury z odmieszania roztworu stałego FeS-ZnS. W pobliżu ziaren sfalerytu zazwyczaj pojawia się daubreelit (Fig. 6). Na granicach obydwu minerałów daubreelit zmienia nieco skład i w miejsce żelaza wchodzi znaczna ilość cynku. Mamy zatem do czynienia z pośrednim członem szeregu tiospinelu daubreelit (FeCr_2S_4) – kalininit (ZnCr_2S_4).

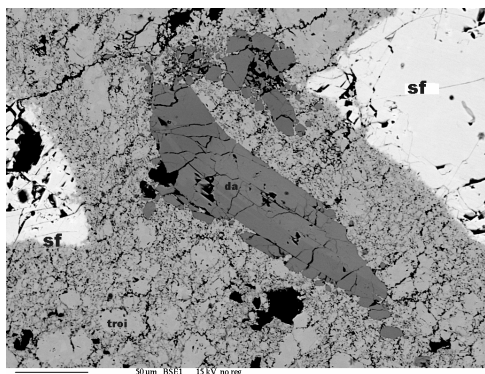


Fig. 6. Obraz BSE. Znaczących rozmiarów wydzielenie daubreelitu (da) w troilicie (troi) w pobliżu ziaren sfalerytu (sf).

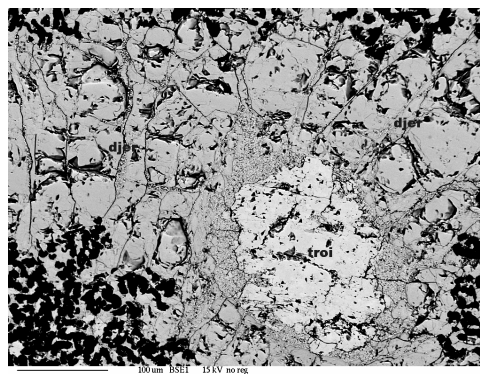


Fig. 7. Obraz BSE. Wydzielenie djerfischerytu (większość pola widzenia) z troilitem (troi) oraz wrostkami grafitu (czarne).

Bardzo interesującym siarczkiem spotykanym w obrębie nodulek jest djerfischeryt ($\text{K}_6\text{Na}(\text{Fe,Cu,Ni})_{25}\text{S}_{26}\text{Cl}$). Minerał ten w warunkach ziemskich spotykany jest w skałach peralkalicznych, np. Półwyspu Kola. Zawiera alkalia oraz chlor. W badanych nodulach występuje w postaci pojedynczych ziaren lub dużych wydzieleni poprzerastanych troilitem (Fig.7) lub grafitem. W noduli pokazanej na Fig. 5. zajmuje około 30 % powierzchni przekroju. Innym rzadkim minerałem spotykanym w warunkach ziemskich a nie notowanym w meteorytach jest ałtait (PbTe). Minerał ten został stwierdzony w meteorytach pochodzących z Moraska, Przełazów oraz Jankowa Dolnego. W nodulach występuje on zazwyczaj w strefie granicznej (w strefie nieciągłości) pomiędzy masą troilitowo-grafitową a obwódką cohenitowo-schreibersytową (Fig. 8). Najczęściej tworzy kataklastyczne przerosty troilitu i grafitu z drobnymi ziarnami schreibersytu oraz wtórnymi wodorotlenkami żelaza. Większe jego ziarna można dostrzec gołym okiem, gdyż jest on minerałem najsilniej odbijającym światło wśród bezbarwnych (białych) minerałów

występujących w Morasku. Ałtait stwierdzono także poza nodulemi w postaci mikroziaren tkwiących w kamacycie. Występuje on wtedy w towarzystwie schreibersytu i sfalerytu.

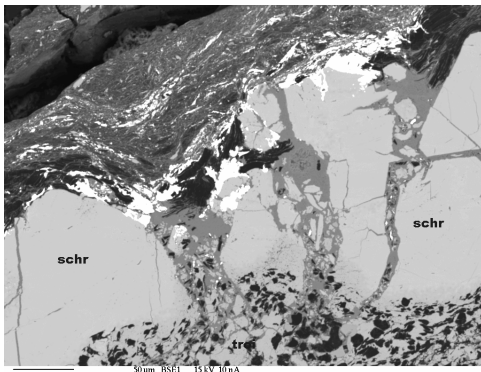


Fig. 8. Obraz BSE. Kataklastyczne przerosty ałtaitu (biały) z grafitem (czarny), troilitem (troi), schreibersytem (schr) oraz wtórnymi wodorotlenkami żelaza (szare).

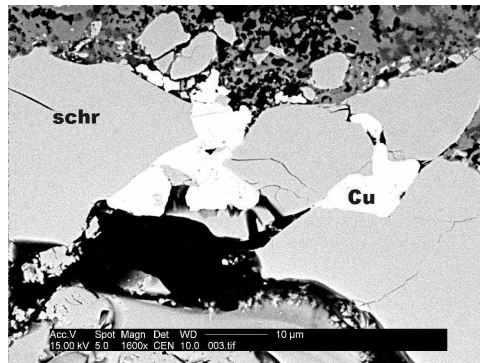


Fig. 9. Obraz BSE. Ziarna miedzi (Cu) tkwiącej pomiędzy ziarnami schreibersytu (schr).

Pierwiastki rodzime reprezentowane są przez dwa minerały – grafit i miedź. Grafit występuje zazwyczaj w obrębie nodulem tworząc polikrystaliczne agregaty często poprzerastane z troilitem. Czasami, w pobliżu nodulem, występują skupienia czystego grafitu o zróżnicowanych kształtach przekrojów. Częste są formy okrągłe lub kwadratowe. Te ostatnie przypominają pseudomorfozy grafitowe po diamentach. Miedź występuje dosyć często ale w postaci bardzo drobnych ziaren. W obrazie mikroskopowym jest łatwo zauważalna z powodu charakterystycznej barwy oraz wysokiej zdolności refleksyjnej. Została stwierdzona w postaci mikrowrostków w sfalerycie jak też jest częsta w strefie nieciągłości pomiędzy nodulem a obwódką cohenitowo-schreibersytową. Takie występowanie sugeruje jej wtórną genezę. Rzadko tworzy wrostki w schreibersycie (Fig. 9).

Minerały tlenkowe reprezentowane są przez pospolity chromit ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) zawierający zawsze domieszkę magnezu. Chromity często tworzą automorficzne ziarna (Fig. 16), niekiedy skataklastowane. W niektórych przekrojach nodulem zawartość chromitu osiąga kilkunastu procent objętościowych (Fig. 10). Kolejnym minerałem tlenkowym jest rutyl (TiO_2). Zawiera on wyraźną domieszkę chromu, niobu i żelaza (Cr ~0,24 % at., Nb-0,27-0,29 % at. i Fe-0,13-0,19 % at.). Rutyl występuje w obrębie przerostów grafitu i troilitu. Często zawiera wrostki tych minerałów.

Stosunkowo rzadką, ale ważną grupę minerałów w nodulem stanowią krzemiany. Najbardziej widocznym spośród minerałów nodulem jest kosmochlor ($\text{NaCr}^{+++}\text{Si}_2\text{O}_6$) należący do grupy piroksenów. Makroskopowo ciemnozielony, dużo twardszy od otaczających minerałów (grafit, troilit, sfaleryt). Prześwieca na głęboki zielony kolor. Jest to minerał spotykany na Ziemi jedynie w Birmie. W meteorycie Morasko kosmochlor tworzy ziarna rzadko osiągające rozmiary 1 mm. Ziarna są ksenomorficzne lub hipautomorficzne. Często w nich występują drobne wrostki troilitu (Fig. 11). Zakłada się, że minerał ten może istnieć w płaszczu ziemskim. Kolejnymi piroksenami są minerały w klasyfikacji meteorytowej leżące na pograniczu enstatytu i bronzytu, o zawartości minalu ferrosylitowego rzędu 8-9 %. (W klasyfikacji piroksenów ziemskich nazywane są enstatytami). Występują one bardzo nieliczne w postaci drobnych wrostków w krzemionce. O wiele częstsze są pirokseny, w nomenklaturze meteorytowej zaliczane do bronzytów (Fig. 12). Ich skład

waha się w niewielkich granicach, od 85 % do 88,5 % minału enstatytowego. Opisywane bronzyty współwystępują często ze skaleniami (albitem i ortoklazem) lub fosforanami. Zawierają drobne wrostki troilitu, rzadziej grafitu. Najbardziej interesujące są bogate w Cr pirokseny Na-Ca, które nazywamy szeregiem kosmochlor-augit (Karwowski & Muszyński, 2006). Występują one czasem na brzegach bronzytów, w postaci obwódek reakcyjnych (Fig. 13).

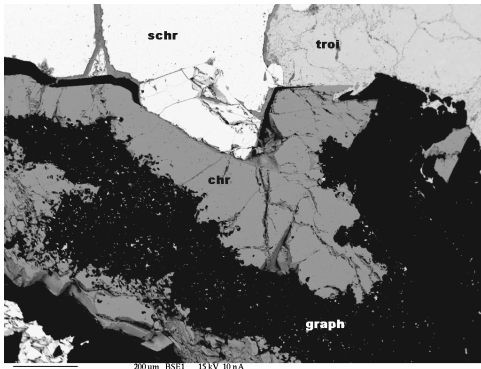


Fig. 10. Obraz BSE. Chromit (chr) okalający częściowo wypełnienie noduli grafitowo (graph) troilitowej (troj). Obrzeżenie noduli stanowi schreibersyt (schr).

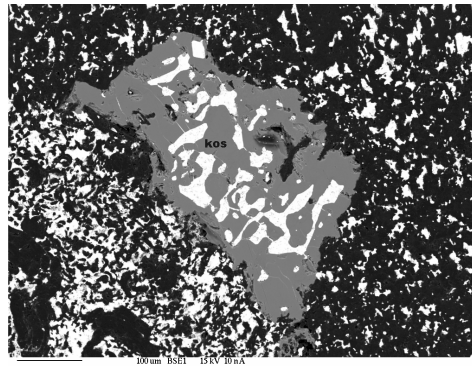


Fig. 11. Obraz BSE. Ziarno kosmochloru (kos) z wrostkami troilitu (biały) tkwiącego w masie grafitowo-troilitowej. Grafit (czarny), troilit (biały).

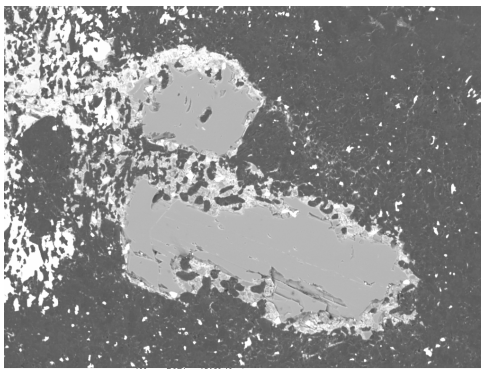


Fig. 12. Obraz BSE. Ziarna piroksenów (bronzyty) tkwiące w masie grafitowej z niewielką domieszką troilitu (biały).

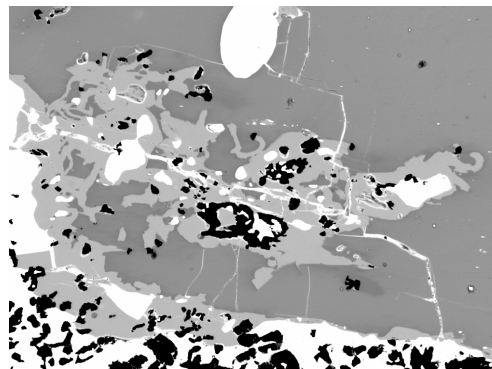


Fig. 13. Obraz BSE. Strefy reakcyjne bronzytu (ciemno-szary) i powstający kosmochlor-augit (jasno szary). Czarny grafit, biały – troilit.

Skalenie reprezentowane są przez dwa rodzaje – praktycznie czysty albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) oraz skałen potasowy – ortoklaz (KAlSi_3O_8). Zazwyczaj tworzą wspólne ziarna przypominające antypertyt (Fig. 14). Rzadziej ortoklaz występuje samodzielnie tworząc palczaste ziarna tkwiące w grfcie, często zawierając jego wrostki. Skalenie zwykle towarzyszą piroksenom (bronzytom). Do rzadkości wśród stwierdzonych krzemianów należy oliwin ($\text{Mg,Fe}[\text{SiO}_4]_2$) zawierający około 96 % minału forsterytu. Oliwin stwierdzono w postaci pojedynczego ziarna tkwiącego w troilicie (Fig. 15).

Kolejną grupę minerałów występujących w nodulach stanowią fosforany. Najczęściej spotykanymi są buchwaldyt $\text{NaCa}[\text{PO}_4]$ i brianit $\text{Na}_2\text{CaMg}[\text{PO}_4]_2$ (Fig. 16). Występują one rzadko w drobnych nodulach fosforanowo-chromitowych. Czasem towarzyszą im inne fosforany, których identyfikacja nie jest w pełni jednoznaczna

(fosforany Na i Mg oraz Mg i Ca). Stosunkowo rzadkim fosforanem jest apatyt fluorowy (Fig. 16) Autorom nie udało się stwierdzić obecności minerału zidentyfikowanego jako whitlockit (Dominik 1976).

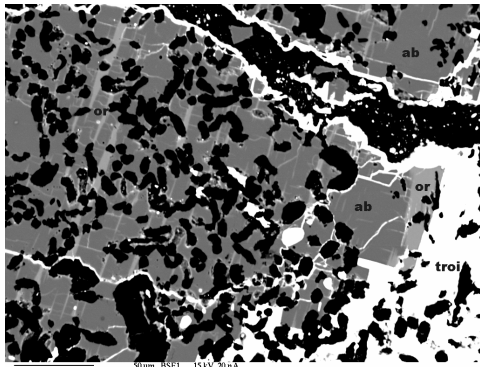


Fig. 14. Obraz BSE. Antypertytowy przrost albitu (ab) i ortoklazu (or). Z wrostkami troilitu (troi) i grafitu (czarne).

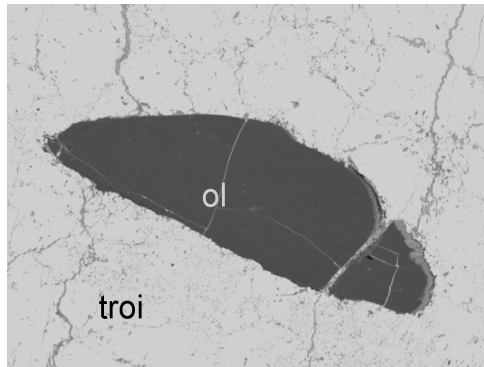


Fig. 15. Obraz BSE. Pojedyncze ziarno oliwinu (ol) tkwiące w masie troilitowej (troi).

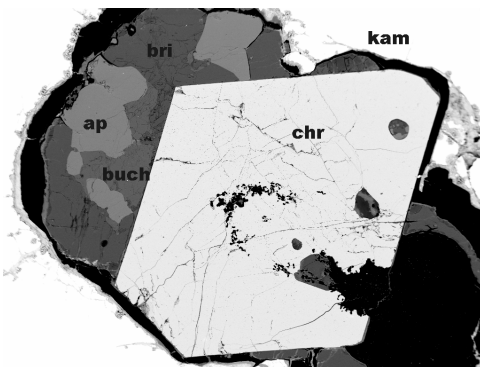


Fig. 16. Obraz BSE. Fragment drobnej noduli tkwiącej w kamacycie (kam) zawierającej chromit (chr) apatyt (ap), buchwaldyt (buch) i brianit). Czarny – grafit.

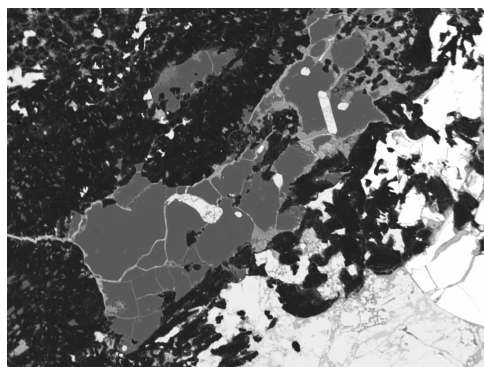


Fig. 17. Obraz BSE. Większe ziarno krzemionki tkwiące w noduli grafitowo-troilitowej. Czarny – grafit, jasno szary – troilit, biały schreibersyt.

Dość często spotykanym minerałem w nodulach jest krzemionka, praktycznie czysta, nie zawierająca domieszek innych pierwiastków. Tworzy ona ziarna ksenomorficzne różnych rozmiarów. Czasem występuje w nodulach razem z chromitem i kosmochlorem, bądź tworzy bardzo drobne wrostki w piroksenach. W dużych ziarnach krzemionki spotyka się drobne wrostki prawie czystego enstatytu (Fig. 17). Mineralogicznie nie została zidentyfikowana.

ZAKOŃCZENIE

Z naszych obserwacji wynika, że geneza piroksenów jest zapewne bardziej skomplikowana, niż to sugerowali Benedix i inni (2000). Sądzymy, że w trakcie krystalizacji meteorytu występowały przynajmniej dwa stopy krzemianowe, umożliwiające powstanie piroksenów. Te stopy były bogate w Na, K, Ca, Cr, Fe oraz jony fosforu. Z pierwszego stopu, podobnego do aubritów, mogły wykrystalizować dwa różniące się składem enstatytu, krzemionka i oliwin. Drugi stop spowodował powstanie kosmochlору.

Podczas pokruszenia skały przy intruzji drugiego stopu (bogatego w Ca, Na, i Cr) nastąpiła jego reakcja z wcześniej utworzonymi enstatytami, co doprowadziło w efekcie do powstania mieszanego szeregu piroksenów - kosmochlor-augit. Jako wyjątkową ciekawostkę w skali światowej należy traktować niewątpliwe stwierdzenie w badanych meteoroidach ałtaitu będącego nośnikiem ołowiu oraz telluru – pierwiastków występujących w mikroilościach w meteoroidach. Nie stwierdzono różnic w składzie nodul pomiędzy meteoroidami pochodzącymi z Przelazów, Moraska i Jankowa Dolnego.

Badania finansowane z projektu badawczego MNiSzW nr N N307 3533 33.

LITERATURA

- DOMINIK B., 1976. Mineralogical and chemical study of coarse octahedrite Morasko (Poland). *Prace Mineralogiczne PAN*. 47. 7-52.
- DZIEL T., GAŁĄŻKA-FRIEDMAN J., KARWOWSKI Ł., 2007. Badania mössbauerowskie meteoroidów Marlow i Morasko. *Materiały III Seminarium Meteoroidowego Olsztyn 2005*. 17-23.
- MUSZYŃSKI A., STANKOWSKI W., DZIERŻANOWSKI P., KARWOWSKI Ł., 2001. New data about the Morasko meteorite. *Polskie Towarzystwo Mineralogiczne, Prace Specjalne*, 18. 134-137.
- KARWOWSKI Ł., MUSZYŃSKI A., 2006. Silicates association in nodules of iron meteorites Seeläsgen, Morasko and Jankowo Dolne. *Mineralogia Polonica – Special Papers*, 29. 140-143.
- BENEDIX G. K., McCOY T. J., KEIL K., LOVE S.G., 2000. A petrologic study of the IAB iron meteorites: Constraints on the formation of the IAB-Winonaite parent body. *Meteoritics & Planetary Science*. 35. 1127-1141.
- MUSZYŃSKI A., PILSKI A. S., SOCHA K., 2006. Dwa lata w rezerwacie Morasko. *Meteoroid*. 4/2006. 16-18.