

MAREK ŻBIK

Uniwersytet Warszawski

**ANALIZA MORFOLOGICZNA CZARNYCH ZIARN KULISTYCH
WYDZIELONYCH Z FRAKCJI MAGNETYCZNEJ GRUNTU
W MIEJSCU TUNGUSKIEJ KATASTROFY (1908)**

UKD 552.123.4:535 – 204:549:731.13:539.211:548.51:523.51 tunguski(571.51 Podkamienna Tunguska)''1908.06.30''

Pierwsze doniesienia o spadku wyjątkowo dużego meteorytu w rejonie Podkamiennej Tunguskiej pochodzą z materiałów ekspedycji meteorytowej L.A. Kulika, prekursora radzieckiej meteorytyki, z 1921 r. Następne wyprawy L.A. Kulika do miejsca spadku meteorytu tunguskiego przedsięwzięte w latach 1928–1930 oprócz opisów i fotografii, niewyobrażalnie jak na tamte czasy, wielkich zniszczeń w syberyjskiej tajdze, przyniosły również odkrycie w próbkach gruntu pobranych w miejscu katastrofy kulistych i nieregularnych ziarn zawierających Ni. Upoważniło to A.A. Yavnela (20) do doniesień na temat znalezienia materii meteorytu tunguskiego.

Po wojnie, przeprowadzony w 1953 r. przez Floreńskiego rekonesans (3), mający na celu sprawdzenie stanu technicznego bazy pozostawionej przez L.A. Kulika, do-

prowadził do dalszych wypraw w 1958 oraz 1961–1962 r. W trakcie tych wypraw pobierano próbki gruntu, z których wydzielano następnie frakcję magnetyczną. Ogółem opróbowano teren o powierzchni ok. 80 000 km². Najwięcej próbek pobrano w czasie wyprawy z 1962 r. poświęconej niemal w całości tylko temu celowi.

W wyniku powyższych prac powstała mapa przedstawiająca gęstość występowania ziarn kulistych frakcji magnetycznej w przeliczeniu na jednostkę powierzchni terenu. Na mapie tej widoczny jest obszar o podwyższonej gęstości ziarn znajdujący się w odległości ok. 80 km na NW od epicentrum katastrofy.

Doniesienie o występowaniu ziarn kulistych we frakcji magnetycznej gruntu, o ich składzie i morfologii znaleźć można w pracach (2, 4, 5, 6, 8, 9, 12, 13, 14). Wyniki badań

składu tych ziarn prowadzone głównie pod kątem zawartości w nich Ni pozwoliły stwierdzić, że znaczna część badanego pyłu jest pochodzenia pozaziemskiego.

Dopiero jednak prace N.A. Nazarova i innych (17) oraz M. Žbika (21, 22) pozwoliły uzyskać dalszy postęp w badaniach kulistych ziarn frakcji magnetycznej. W wymienionych pracach poddano badaniom czarne kuliste ziarna frakcji magnetycznej wydzielone z gruntu w rejonie maksymalnej ich koncentracji. Próbkę gruntu, z których wydzielono ziarna pobrane były przez wyprawę z 1962 r.

W swoich badaniach N.A. Nazarov i inni (17) w celu oznaczenia składu ziarn kulistych przeprowadzili analizy przy użyciu mikroskopy elektronowej i instrumentalnej analizy aktywacji neutronowej. Na podstawie wyników badań udało się im podzielić badany materiał na ziarna duże (powyżej 200 μm) i małe (poniżej 100 μm). Ziarna małe podzielili oni na sześć klas o odmiennym nieco składzie. Stwierdzono, że wszystkie duże ziarna są pochodzenia pozaziemskiego, natomiast wśród małych kulek o średnicy poniżej 150–100 μm jedynie kilka procent pochodzić może z kosmosu. Ogólna zawartość FeO w czarnych ziarnach frakcji magnetycznej wg N.A. Nazarova i in. (17) waha się w granicach 80–95%, NiO 0–5%, MgO 1–33%.

Do badań morfologicznych referowanych w pracach (21, 22) pobrano ok. 100 czarnych ziarn kulistych frakcji magnetycznej, spośród poddanych uprzednio przez N.A. Nazarova instrumentalnej analizie aktywacji neutronowej. W ogólnej liczbie 100 badanych ziarn dwa należały do ziarn dużych, resztę stanowiły ziarna małe.

Przeprowadzono analizę morfologiczną ziarn za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Pracowano na mikroskopie firmy TESLA, stosując powiększenia od 300 do 50 000 razy.

Dwa duże ziarna umieszczono oddzielnie na stoliku mikroskopowym, a całą populację kulek mniejszych umieszczono na drugim stoliku. Ziarna naklejano na stoliki za pomocą obustronnie lepiącej taśmy. Próbkę napyłano w próżni złotem.

Po dokonaniu wstępnej obserwacji, spośród małych ziarn odfotografowano 30 najbardziej charakterystycznych celem poddania ich dokładniejszej analizie morfologicznej. Ponadto dla 15 ziarn dokonano półilościowej analizy zawartości Ni, wykorzystując w tym celu mikrosondę elektronową jako przystawkę do mikroskopu skaningowego firmy JEOL.

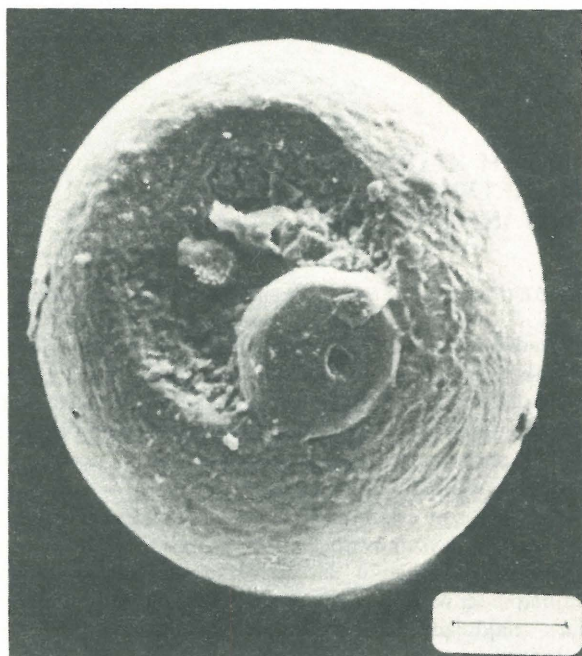
Obserwowany materiał charakteryzował się dużą różnorodnością rozmiarów, formy i szczegółów morfologicznych powierzchni. Obok kulistych niektóre ziarna miały kształt kropłopodobny lub butelkowaty. Część ziarn była uszkodzona bądź całkowicie rozbita. Obserwowano poszczególne fragmenty ziarn i porowatego szkliwa. Na temat zróżnicowania ziarn frakcji magnetycznej wydzielonych z gruntu pobranych w rejonie katastrofy tunguskiej pisze O.A. Kirova (13). Mówi ona o zróżnicowaniu składu ziarn wydzielających ziarna krzemianowe i magnetytowe, formy – kropłopodobne, kolbkowate, skorupki i połysku powierzchni – ziarna błyszczące, matowe i szorstkie. Wskazano w cytowanej pracy na fakt występowania ziarn „zespolonych” złożonych z kilku ziarn kulistych różniących się niekiedy składem.

Jak wykazały przeprowadzone obserwacje pod względem cech morfologicznych powierzchni wydzielono pięć zasadniczych typów:

- ziarna o gładkiej powierzchni,
- ziarna o powierzchni dekorowanej mniejszymi ziarnami i cząstkami o kulistej i nieregularnej formie;
- ziarna o nierównej powierzchni typu „regolitowego”,
- ziarna o „mozaikowym” typie morfologii powierzchni.
- ziarna o „karakułowym” typie morfologii powierzchni.

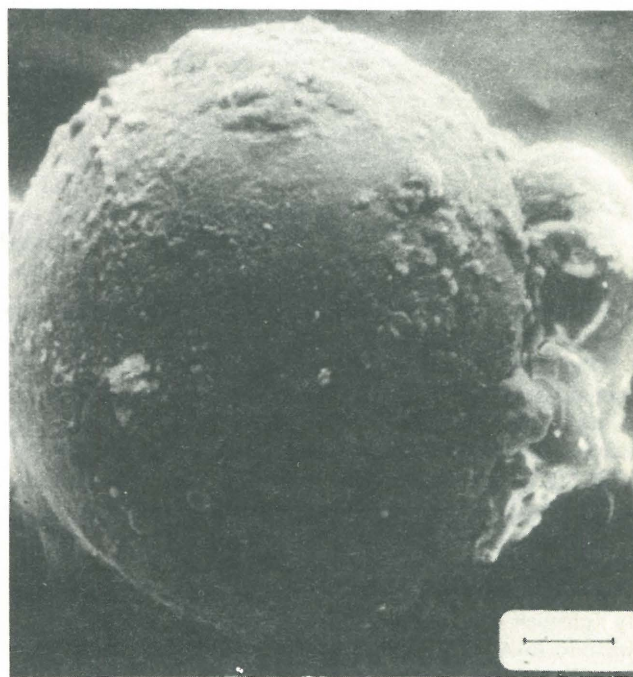
Różnice morfologii powierzchni zaznaczają się zarówno wśród ziarn o różnych średnicach, jak i zbliżonych rozmiarami.

Dwa największe ziarna należące do grupy dużych (ryc. 1 i 2) pod względem morfologii powierzchni różnią



Ryc. 1. Ziarno kuliste z mikrokraterem (linia skali 75 μm).

Fig. 1. Spherical grain with microcrater (scale – 75 μm).



Ryc. 2. Ziarno kuliste o powierzchni dekorowanej (linia skali 50 μm).

Fig. 2. Spherical grain with decorated surface (scale – 50 μm).

się od pozostałych. Ziarno o średnicy ok. 350 μm przedstawione na ryc. 1 charakteryzuje się gładką powierzchnią makroskopowo błyszczącą. Przy dużych jednak powiększeniach powierzchnia ta wydaje się być lekko pomarszczona. Może to świadczyć o stosunkowo wolnym stygnięciu uprzednio płynnej powierzchni wirującego ziarna. Jak to widać na ryc. 1 ziarno to zawiera wewnątrz mniejszy kulisty składnik o średnicy ok. 110 μm . Składnik ten jako wcześniej uformowany dostał się do wnętrza płynnego jeszcze dużego ziarna. Oba te ziarna różnią się zapewne własnościami fizycznymi, jak również składem chemicznym. Potwierdziły to badania przy użyciu mikrosondy wskazując na znacznie wyższą koncentrację Ni w składniku wewnętrznym dużego ziarna. Różnice te stały się prawdopodobnie powodem odłupania się fragmentu czaszy większego ziarna podczas jego stygnięcia. Powstała w wyniku tego forma morfologiczna mikrokrateru o średnicy ok. 200 μm . Forma ta przedstawiona jest na ryc. 3.

Drugie, nieco mniejsze ziarno o średnicy ok. 300 μm przedstawione na ryc. 2 reprezentuje drugi typ morfologiczny powierzchni (typ b). Jego powierzchnia usiana jest drobnymi kulkami o średnicach od części μm do kilkunastu μm , jak również nieregularnymi cząsteczkami i ziarnami. Duże powiększenia fragmentów badanego ziarna (ryc. 4) pozwalają dostrzec powierzchnię drobnych dekorujących ziarno składników. Drobne te ziarna i cząstki są kulkami o „szklistej” gładkiej powierzchni, co świadczyć może o znacznych prędkościach ich stygnięcia. Tworzą one kuliste bądź częściowo wtopione kropliste formy. Tworzyły się one najprawdopodobniej bezpośrednio z fazy gazowej w wyniku kondensacji. Chmura takich aerozoli powstała mogła po uprzednim zadziałaniu na materiał skalny bryły meteoroidu czynnika wysokotemperaturowego np. eksplozji. Cząstki aerozolowe osiadając na powierzchni formującego się ziarna mogły stanowić istotny czynnik jego wzrostu.

Porowatość dużych powoli stygnących ziarn nie jest prawdopodobnie zbyt wielka. Może o tym świadczyć

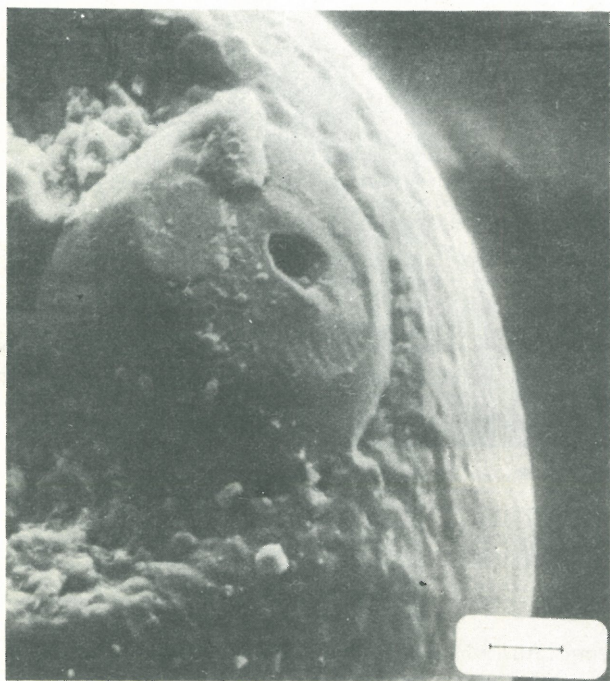
brak por na wewnętrznych ściankach mikrokrateru dużego ziarna (ryc. 3). Na tej samej fotografii widoczna jest pora we wnętrzu małego składnika położonego na brzegu mikrokrateru.

Ziarna i cząstki drobne o rozmiarach poniżej 10 μm rzadko występują samodzielnie. Fotografia na ryc. 5 przedstawia ziarno o średnicy 7 μm o gładkiej „szklistej” powierzchni. Widoczne są na niej dwie kuliste cząstki o średnicy ok. 1,5 i 0,7 μm .

Pod względem strukturalnym opisywane powyżej ziarna mogłyby odpowiadać „compound chondrules” opisywanym dla meteorytów w pracy (10). Podobieństwem ziarn kulistych pochodzących z ablacji meteoroidów w atmosferze Ziemi do chondr meteorytowych zajmuje się L. Wilkening (19). Można zatem badane ziarna traktować jako obiekty chondropodobne. Bardzo zbliżony proces wzrostu ziarn polegający na „zlepianiu” się drobnych kulistych produktów kondensacji termicznej w odniesieniu do tektytów przedstawiono w pracy (11).

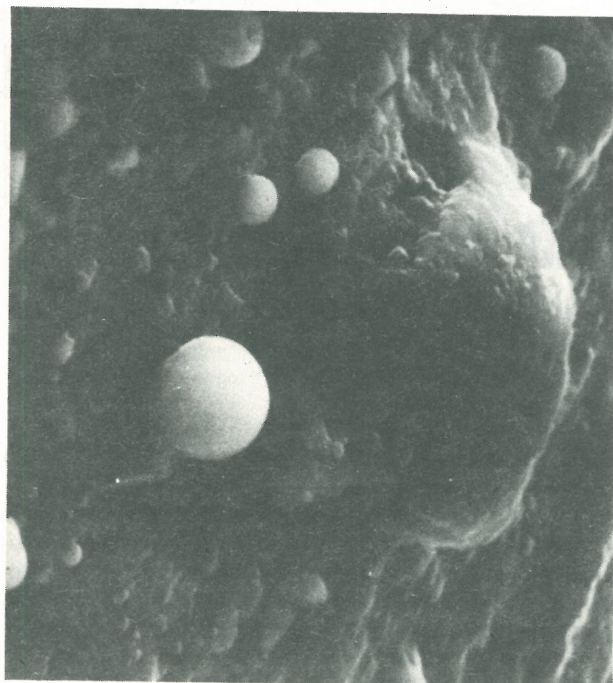
Ziarna małe, o średnicach kilkudziesięciomikrometrowych, morfologią swojej powierzchni różnią się od wyżej opisanych. Stosunkowo rzadko spotyka się ziarna makroskopowo błyszczące o gładkim typie morfologii powierzchni. Ziarna takie o średnicach ok. 100 μm reprezentowane są na ryc. 6. Gładka powierzchnia tych ziarn miejscami łuszczy się (patrz strzałka), co świadczyć może o sferycznej koncentrycznej budowie ich skorupy. Wnętrze tych ziarn, jak to potwierdziły obserwacje, jest wysokoporowate. Świadectwem tego są często spotykane na ziarnach tego typu mikrokraterki stanowiące ujście gazów z wnętrza.

Ziarna szorstkie o „regolitym” typie morfologii powierzchni (typ c) przykładowo przedstawiono na ryc. 7. Ziarna te makroskopowo matowe charakteryzują się bardzo nierówną, szorstką powierzchnią usianą nieregularnymi gruzełkami, kawerniastymi porami. Powierzchnia ta czyni wrażenie mocno zwiertzałej, nie nosi znamion bezpośredniego na nią wpływu procesów wysokotemperaturowych. Na powiększeniach ziarn tego typu widoczne są



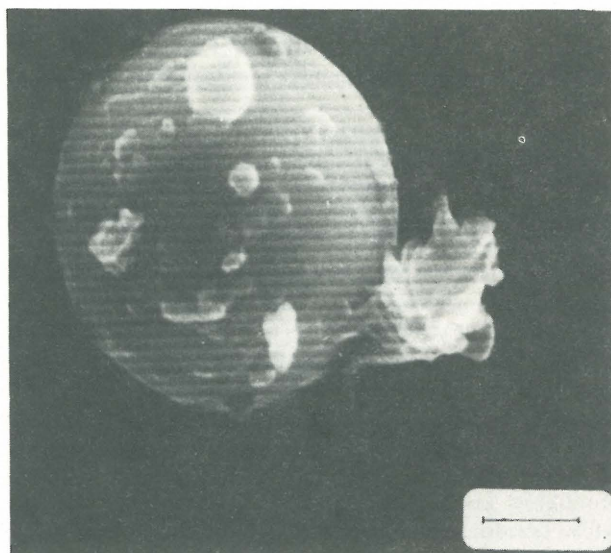
Ryc. 3. Mikrokrater na powierzchni ziarna (linia skali 20 μm).

Fig. 3. Microcrater at grain surface (scale — 20 μm).



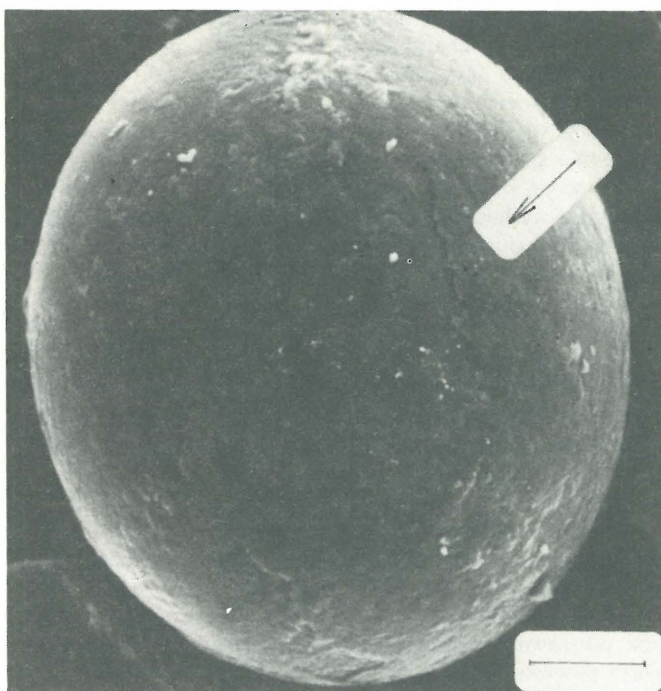
Ryc. 4. Drobne ziarna dekorujące powierzchnię.

Fig. 4. Fine grains decorating surface of a large one.



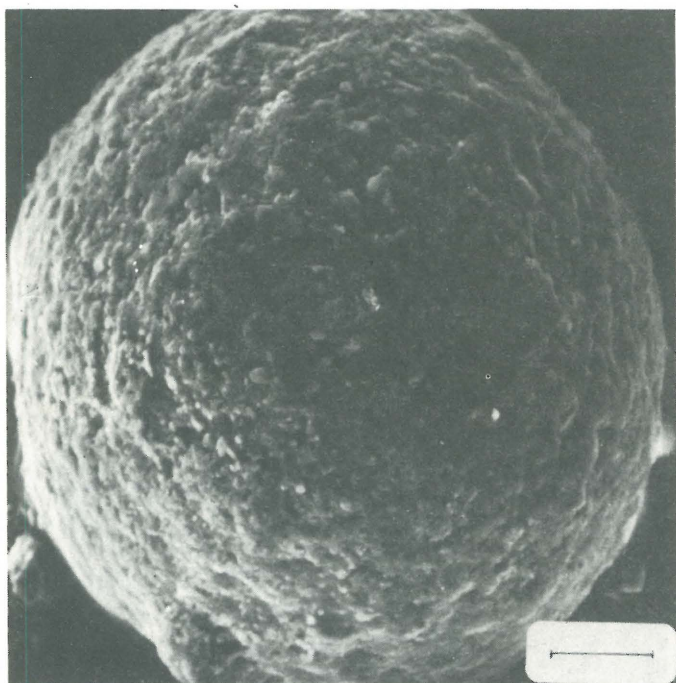
Ryc. 5. Drobne ziarna o szklistej powierzchni (linia skali 2 μm).

Fig. 5. Fine grains with glossy surface (scale - 2 μm).



Ryc. 6. Ziarno kuliste o gładkiej powierzchni, miejsce złuszczenia się wskazano strzałką (linia skali 120 μm).

Fig. 6. Spherical grain with smooth surface; scaling of shown by arrow (scale - 120 μm).

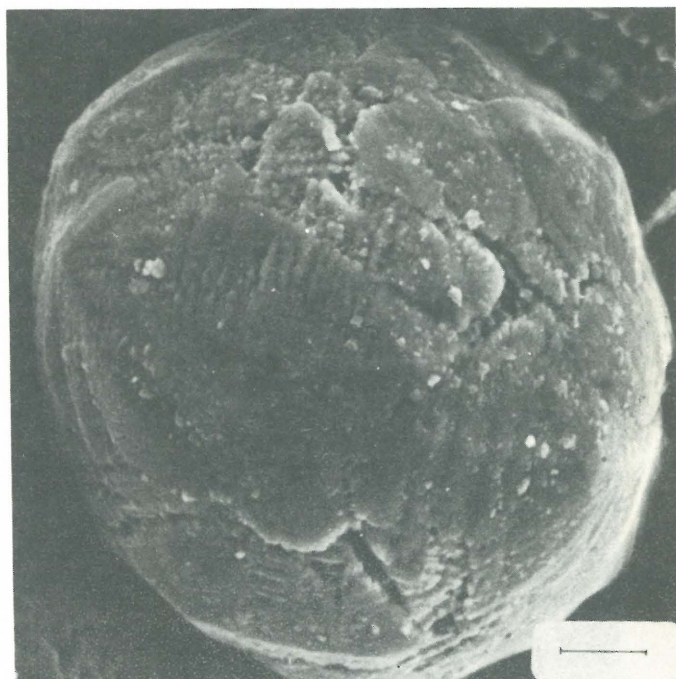


Ryc. 7. Ziarno kuliste o „regolitym” charakterze morfologii powierzchni (linia skali 20 μm).

Fig. 7. Spherical grain with „regolith” surface (scale - 20 μm).

drobne kuliste skupienia rzędu 1 μm zlepione ze sobą szklistopodobną substancją.

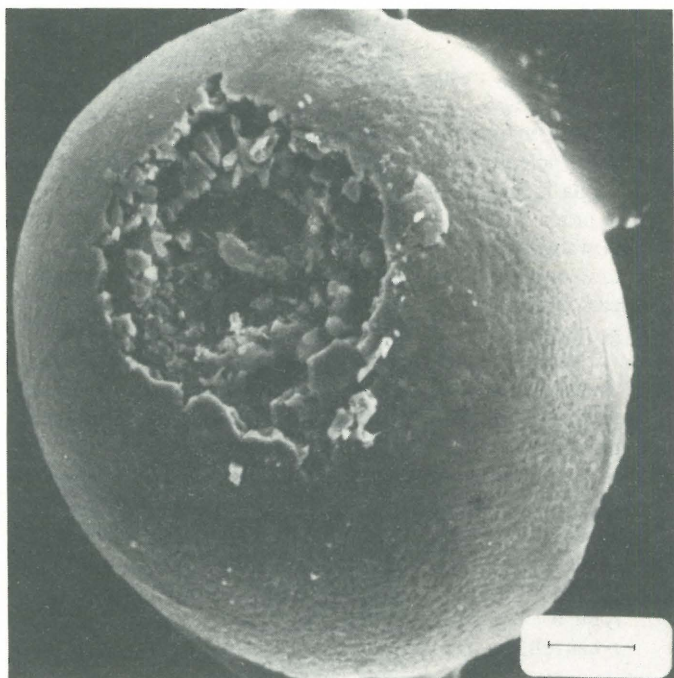
Ziarna o „mozaikowym” typie morfologii powierzchni (typ d) różnią się między sobą zarówno formą, jak i rysunkiem powierzchni. Przykładowo ziarno tego typu morfologicznego przedstawiono na ryc. 8. Zdarzają się tu ziarna kropłopodobnej i butelkowatej formy, przeważa jednak forma kulista. Wieloboczne, czasem nieregularne mozaiki, widoczne na powierzchni ziarn tego typu odwzorowują zapewne granularną strukturę wnętrza. Ziarna takie powstać mogły wskutek zlepiania się plastycznych składników mineralnych poddanych uprzednio działaniu wysokich



Ryc. 8. Ziarno kuliste o „mozaikowym” charakterze morfologii powierzchni (linia skali 10 μm).

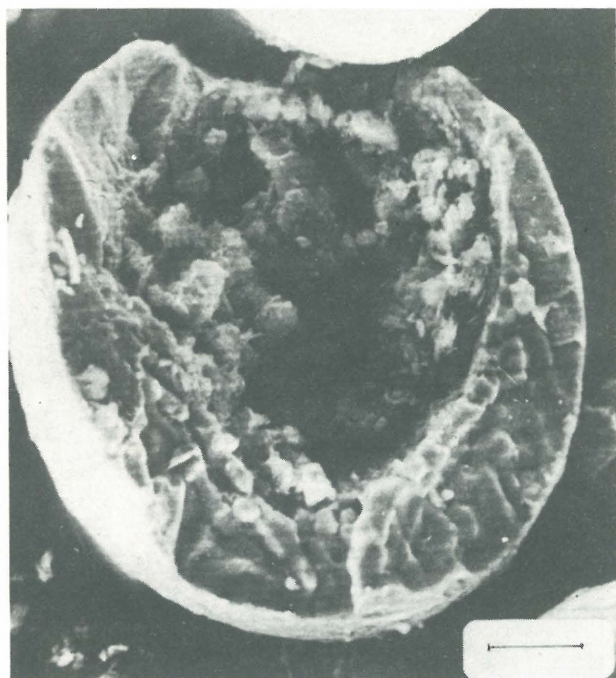
Fig. 8. Spherical grain with mosaic fabric of surface (scale - 10 μm).

temperatur. Mogą one również stanowić wewnętrzny składnik większego ziarna, którego skorupka uległa zniszczeniu. Podobny typ morfologiczny ziarna, jako wynik ablacji meteoroidu o chondrytowym składzie przedstawiono w pracy (1).



Ryc. 9. Ziarno kuliste o „karakulowym” charakterze morfologii powierzchni (linia skali 20 μm).

Fig. 9. Spherical grain with „astrakhan” fabric of surface (scale – 20 μm).



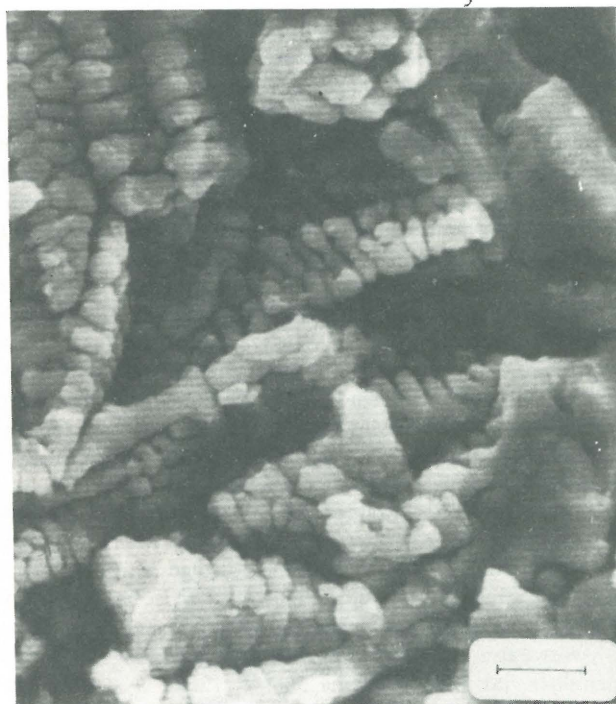
Ryc. 10. Duża pora we wnętrzu ziarna (linia skali 20 μm).

Fig. 10. Large pore inside a grain (scale – 20 μm).



Ryc. 11. Fragment ziarna o porowatej strukturze (linia skali 20 μm).

Fig. 11. Fragment of grain with porous structure (scale – 20 μm).

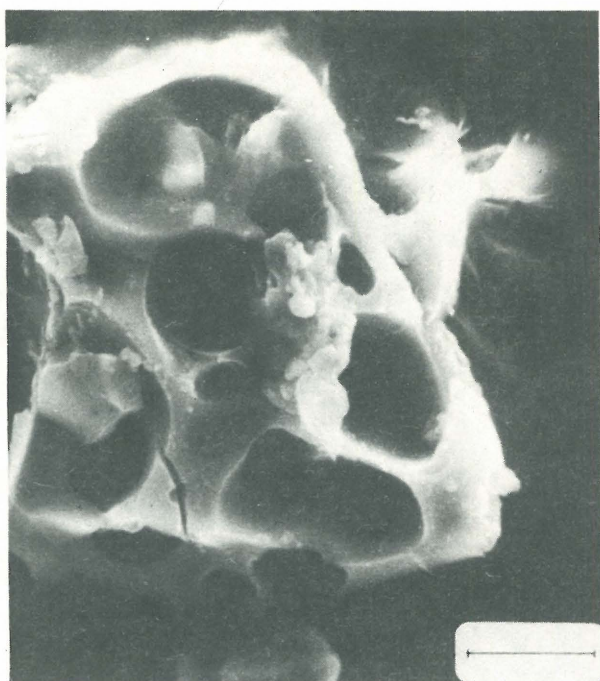


Ryc. 12. Krystalizacja dendrytowa we wnętrzu ziarna kulistego (linia skali 3 μm).

Fig. 12. Dendritic crystallization inside spherical grain (scale – 3 μm).

Ziarna o „karakulowym” typie morfologii powierzchni (typ e) przedstawiono przykładowo na ryc. 9. Makroskopowo błyszczące lub matowe spotykane są często w badanym materiale. Kuliste ziarna tego typu charakteryzują się stosunkowo gładką powierzchnią o specyficznym rysunku, na który składają się szeregi globularnych guzków, o średnicy do kilku μm . Szeregi te rozciągają się mogą na przestrzeni kilkudziesięciu μm i nadają rysunkowi uporządkowany

charakter. Widoczne powyżej opisane formy morfologiczne na powierzchni ziarn powstać mogły wskutek szybkiej krystalizacji minerałów z płynnej uprzednio masy. Widoczny na fotografii mikrokrater powstał zapewne przez mechaniczne uszkodzenia cienkiej skorupki. Wewnątrz widoczna jest porowata substancja mineralna o nieuporządkowanej, bezładnej strukturze. Grubość ścianki w tym miejscu ocenić można na ok. 5 μm .



Ryc. 13. Fragment spienionego szkliwa (linia skali 10 μm).

Fig. 13. Fragment of foamy glass (scale - 10 μm).

Obserwacja fragmentów rozbitych ziarn umożliwiła jakościową ocenę ich porowatości. Większość obserwowanych małych ziarn charakteryzuje się występowaniem dużych m. zopor typu pęcherzyków. Podobne pory obserwowano w chondrach meteorytu Allende (23). Ryc. 10 przedstawia wnętrze ziarna „karałuowego” typu morfologii powierzchni. Ziarno to, jak widać, jest w środku puste, osiągając bowiem średnicę ok. 120 μm zawiera porę typu pęcherzyka o średnicy 90 μm . Pora ta ekscentrycznie ułożona wewnątrz ziarna spowodowała osłabienie fragmentu skorupki i powstanie mikrokrateru podobnego zapewne do widocznego na ryc. 9. Wnętrze pory wypełnione jest beładnie rozmieszczonym materiałem mineralnym wykrystalizowanym zapewne z por zamkniętych wewnątrz pęcherzyka. Występowanie tak dużych por wydaje się wykluczać powstawanie ziarn na drodze kondensacji, formować się one mogły z fazy ciekłej. Na fotografii (ryc. 11) przedstawiono fragment rozbitego ziarna kropkopodobnej formy. Wewnątrz występowała pora typu pęcherzyka o średnicy ok. 50 μm . Ziarnista masa tego ziarna sprawia wrażenie zbudowanej ze „sklejonych” ze sobą drobnych kulistych cząstek, być może produktów kondensacji.

Wewnątrz niektórych por magnetyt tworzy groniaste dendryty, jak przedstawione na ryc. 12. O występowaniu dendrytów magnetytowych w ziarnach kulistych rejonu tunguskiej katastrofy doniesiono w pracy (15).

Oprócz opisanych powyżej ziarn w badanym materiale stwierdzono występowanie drobnych fragmentów szkliwa nieprawidłowej formy o charakterystycznej gąbczastej strukturze nadanej przez licznie występujące tu pęcherzyki pogazowe (ryc. 13).

Półilościowe analizy zawartości Ni wykazały, że pośród badanych małych ziarn kulistych nikiel obecny jest w ziarnach „regolitowego” typu morfologii powierzchni oraz znaleziony został w jednym ziarnie „karałuowego” typu morfologicznego. W zdecydowanej jednak większości badane ziarna nie zawierały niklu i są prawdopodobnie ziemskiego pochodzenia. Mogą je stanowić różnego ro-

dzaju zanieczyszczenia przemysłowe, pyły wulkaniczne i inne.

Zwraca uwagę fakt podobieństwa morfologicznego wielu spośród przedstawionych ziarn do kulistych ziarn frakcji magnetycznej lotnych popiołów pochodzących z elektrocieplowni. Ziarna takie powstały w wyniku spalania węgla kamiennego badane za pomocą SEM przedstawiono w pracy (18). Wskazywać to może na prawdopodobieństwo powstawania takich ziarn w warunkach naturalnych podczas pożarów leśnych. Pożary wzniecone, jak się przypuszcza, błyskiem eksplozji ciała meteorytu tunguskiego trwały długo i ogarnęły duże obszary syberyjskiej tajgi (9, 16).

Można zatem przypuszczać, że obserwowane czarne ziarna kuliste są formami poligenetycznymi. Pochodząc mogą częściowo z ablacji meteoroidów, zanieczyszczeń przemysłowych, erupcji wulkanicznych, pożarów leśnych, jak też stanowić mogą przetworzone resztki ciała kosmicznego, które wybuchło nad syberyjską tajgą 30 VI 1908 r.

Jeżeli przyjąć, że materia meteorytu tunguskiego pozostała po wybuchu zawierać powinna Ni i powstać powinna na drodze kondensacji z chmury gazowej, to ziarna typu b i c mogły powstać jedynie w wyniku przemian fizycznych ciała meteorytu tunguskiego.

LITERATURA

1. Brownlee D., Hodge P. — Chondritic particles from deep sea sediments. *Meteoritics* 1978 13.
2. Dolgov Yu., Vassil'ev N. V., et al — Sostav mikrosfelul iz torfow rajona padienija Tunguskogo Mietieoritika 1973 32.
3. Florenkiy K. P. — Niekotoryje wpieczatlenija o sowriemiennom sostojanii rajona padienija Tunguskogo mietieorita 1908 g. *Ibidem* 1955 12.
4. Florenskiy K. P. — Nowoje w izuczenii Tunguskogo mietieorita 108 g. *Geochemija* 1962 nr 2.
5. Florenkiy K. P. — Problemy kosmiceskoj pyli i sowriemiennyje sostojanije izuczenija Tunguskogo mietieorita. *Ibidem* 1963 nr 3.
6. Florenskiy K. P., Ivanov A. V. — O differenciacii wieszczestwa mietieornych tieł w atmosferie Ziemli. *Mietieoritika* 1970 30.
7. Florenskiy K. P., Ivanov A. V. et al — Fazowij sostaw mielkodispersnowo wnieziemnowo wieszczestwa iz rajona Tunguskoj katastrofy. *Geochemija* 1968 nr 10.
8. Florenskiy K. P., Ivanov A. V. et al — Chimiceskij sostaw kosmiceskich szarikow iz rajona Tunguskoj katastrofy i niekotoryje woprosy differenciacii wieszczestwa kosmiceskich tieł. *Ibidem* 1968 nr 10.
9. Furyayev V. V. — Liesnyje požary w rajonie padienija Tunguskogo mietieorita i ich wlijanije na formirovanije liesow. *Problemy Mietieoritiki, Novosibirsk* 1975.
10. Gooding J. L., Keil K. — Relative abundances of chondrule primary textural types in ordinary chondrites and their bearing on conditions of chondrule formation. *Meteoritics* 1981 16.
11. Heide K., Völksch G., Florenski P. W. — Comparing investigations on the surface structures of irghizites and pyroclastics by SEM. *Ibidem* 1982 17.
12. Ivanova G. M., Bruver R. E. et al. — O poiskach wieszczestwa Tunguskogo mietieorita. *Problemy Tunguskogo Mietieorita, Tomsk*. 1967.
13. Kirova O. A. — O minierałogiceskom izuczenii

- prob poczw iz rajona padienija Tunguskogo mietieorita sobrannykh ekspedycjei 1958 r. Mietieoritika 1961 20.
14. Kirova O. A. — Poiski raspylennogo meteoritnigo wieszczestwa w rajonie padienija Tunguskogo mietieorita. Trudy In-ta geologii AN Est., SSR, 1963.
 15. Kirova O. A., Zaslavskaya N. I. — Niekotoryje dannyje o raspylennom wieszczestwie iz rajona padienija Tunguskogo mietieorita. Mietieoritika 1966 27.
 16. Kurbatskiy N. P. — O lesnom požarie w rajonie Tunguskogo padienija w 1908 r. Ibidem 1964 24.
 17. Nazarov N. A., Korina N. I. et al — The Tunguska event: mineralogical and geochemical data (abstract). Lunar and Planetary Science Conf. XIV, Lunar and Planetary Institute, Houston 1983.
 18. Stokłosa J., Szczepanowski W. J., Zapotoczna-Sytek G. — Ocena przydatności popiołu lotnego do produkcji wyrobów z betonu komórkowego. Cement Wapno Gips 1982 35.
 19. Wilkening L. — Interplanetary probes. Geotimes 1978 23.
 20. Yavnel A. A. — O sostawie Tunguskogo mietieorita. Geochimija 1957 nr 6,
 21. Žbik M. — Morphology of the outer shells of the Tunguska spherules (abstract). Lunar and Planetary Science Conf. XIV., Lunar and Planetary Institute, Houston 1983.
 22. Žbik M. — Morphology of the outermost shells of the Tunguska black magnetic spherules. Proc. Lunar and Planetary Sc. Conf. XIV, J. Geoph. Research, 1984.
 23. Žbik M., Lang B. — Morphological features of pore spaces in chondrules. Proc. Chondrules and their Origins, Lunar and Planetary Institute, Houston 1983.

SUMMARY

The present state of knowledge of black spherical grains separated from magnetic fraction of soil from the site of the Tunguska catastrophe (1908) is discussed. SEM studies on morphology of the grains made it possible to differentiate the following morphological types: a) grains with compact smooth surface, b) with surface decorated with numerous spherulitic fines and fine irregular grains, c) with surface of regolith type, d) with surface with mosaic fabric, and e) with surface with astrakhan-like coating. It is found that physical changes of Tunguska meteorite body could result in origin of grains of the morphological types b and c only.

РЕЗЮМЕ

В статье представлены актуальные данные по чёрным орбикулярным зернам выделенным из магнетической фракции грунта, в районе Тунгуской катастрофы (1908). Приведены результаты морфологических исследований этих зерн наблюдаемых при помощи электродвижущей силы. Выделены пять морфологических типа: а) с гладкой поверхностью, б) с декорированной поверхностью, в) с поверхностью „реголитной”, г) с поверхностью „мозаичного” типа, д) с поверхностью „каракулевого” типа. После рассуждений сделано предложение, что вследствие физических превращений тунгусского метеорита могли образоваться только зерна морфологических типов б и в.