

## MIKROMORFOMETRIA BREKCJI KSIĘŻYCOWYCH

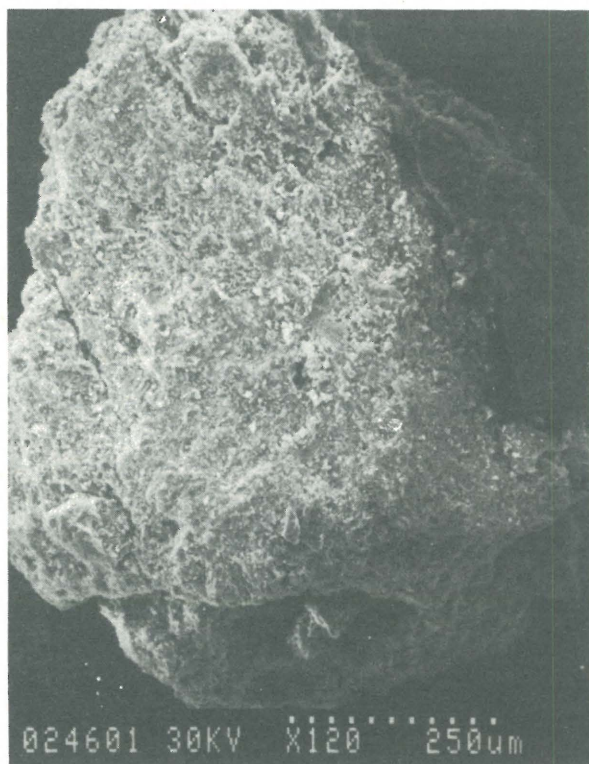
UKD 552.08:523.3:629.785

Przedmiotem badań mikromorfometrycznych były dwa fragmenty księżycowych brekcji regolitowych, dostarczonych przez radzieckie bezzałogowe sondy kosmiczne. Jeden z nich pobrany przez sondę Łuna-20 (próbka 514) pochodzi z terenów kontynentalnych Wyżyn księżycowych, położonych pomiędzy morzami Żyzności i Przesień, drugi natomiast pobrany przez sondę Łuna-16 (próbka 515) pochodzi z morza Żyzności. Ziarna z brekcji regolitowych wytypowane do badań wyseparowane zostały z gruntu księżycowego w Instytucie Geochemii i Chemii Analitycznej im. Wiernadskiego AN w Moskwie i przekazane do Polski w grudniu 1983 r. (2).

Dla oceny cech mikrostrukturalnych przedstawionych ziarn brekcji księżycowych, ze względu na znikomą ilość materiału badawczego zastosowano metodę badań mikromorfometrycznych przy użyciu automatycznego analizatora obrazu Chitachi S-800/Iskra 226. Metoda ta opracowana została w Katedrze Gruntoznawstwa i Geologii Inżynierskiej MGU w Moskwie (4), w której przeprowadzono badania ogólnej porowatości (%), ogólnej i średniej powierzchni por ( $\mu\text{m}^2$ ), ogólnej i średniej średnicy por ( $\mu\text{m}$ ) oraz współczynnika formy por. Ponadto uzyskano histogramy rozdziału częstości występowania por w funkcji ich średnicy. Wyniki tych oznaczeń, wykonanych przy powiększeniach 1000 i 5000 razy zamieszczono w tabeli 1.

Próbkę 514 stanowi przedstawione na fotografii (ryc. 1) ziarno brekcji regolitowej, pobrane z terenów wyżyn kontynentalnych Księżyca przez sondę Łuna-20. Ziarno to nieregularnej formy, o średnicy w przybliżeniu 0,75 mm pod niewielkim już powiększeniem ujawnia swoją porowatą strukturę. Przy powiększeniu (ryc. 2) wyraźnie widać, że badane ziarno stanowi luźny agregat drobnych cząstek i ziarn o wymiarach przeważnie od części  $\mu\text{m}$  do około 30  $\mu\text{m}$ . Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli, brekcja regolitowa wyżyn księżycowych charakteryzuje się wysoką porowatością ogólną, którą to można zaliczyć do typu morfologicznego porowatości międzyziarnowej (1). Pory tego typu są zazwyczaj nieregularnego kształtu, anizometryczne, czego dowodem jest stosunkowo niska wartość współczynnika formy por. Przy większym powiększeniu 5000  $\times$  (ryc. 3) wyraźnie spada porowatość z 44,2% do 31,7%.

Histogram częstości występowania por w funkcji ich średnicy jest jednomodalny, w przypadku powiększenia 1000-krotnego, tj. przy powiększeniu 5000  $\times$  ujawnia dwumodalny charakter. Wiązać to można z występowaniem w skale dwu systemów por. Jeden w granicach ultrapor ze średnim rozmiarem pory 0,29  $\mu\text{m}$ , będący najprawdopodobniej porami międzyziarnowymi opartymi na drobnych cząstkach pochodzenia w większości kondensacyjnego. Drugi system por międzyziarnowych o średnicy 1,53  $\mu\text{m}$ , mieszczący się w przedziale mikropor oparty



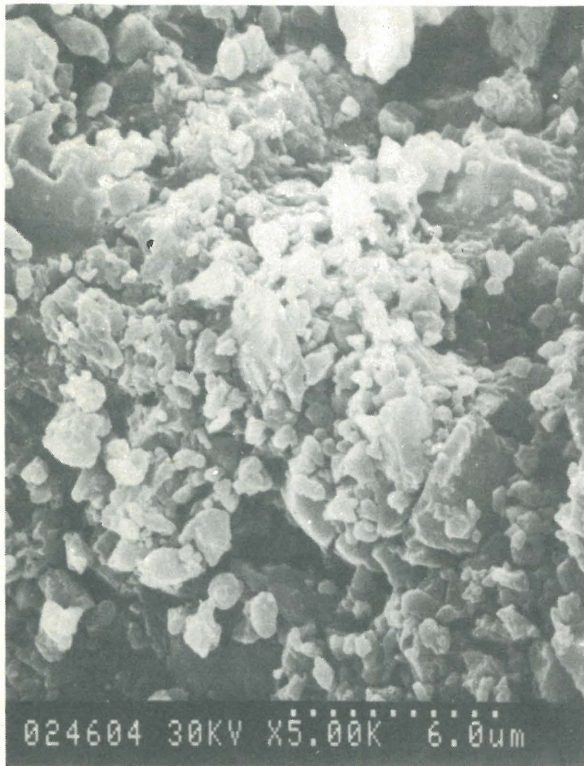
Ryc. 1. Fragment brekcji regolitowej dostarczonej przez sondę kosmiczną Łuna 20

Fig. 1. Fragment of Lunar regolith breccia taken by cosmic station Luna 20



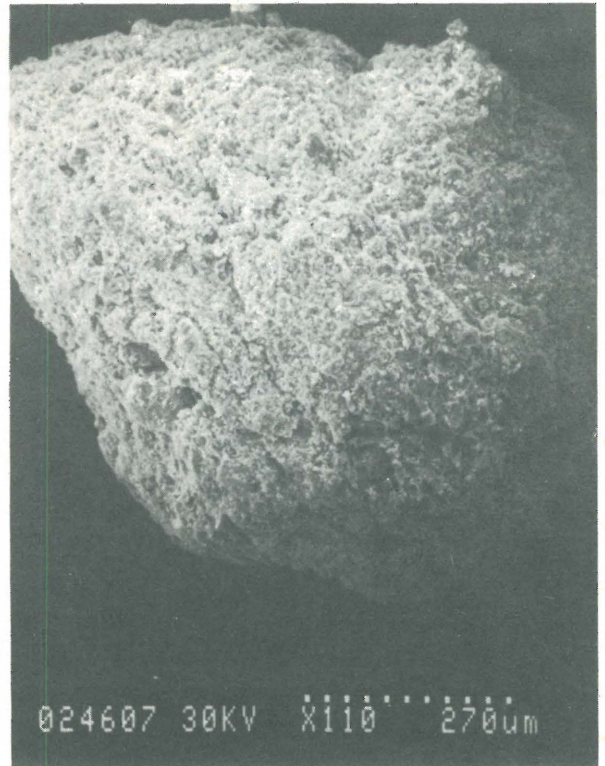
Ryc. 2. Porowata struktura brekcji z Łuny 20

Fig. 2. Porous structure of Luna 20 breccia



Ryc. 3. Drobne ziarna regolitowe w brekcji z Łuny 20

Fig. 3. Fine regolith grains in Luna 20 breccia



Ryc. 4. Fragment brekcji regolitowej dostarczonej przez sondę kosmiczną Łuna 16

Fig. 4. Fragment of Lunar regolith breccia taken by cosmic station Luna 16



Ryc. 5. Porowata struktura brekcji z Łuny 16

Fig. 5. Porous structure of Luna 16 breccia



Ryc. 6. Drobne ziarna regolitowe w brekcji z Łuny 16

Fig. 6. Fine regolith grains in Luna 16 breccia

jest na nieco większych przeważnie ostrokrawędzistych ziarnach pokruszonych skał i minerałów. Niewielki wzrost współczynnika formy por wskazuje na to, że morfologiczny charakter typu porowatości wraz ze wzrostem powiększe-



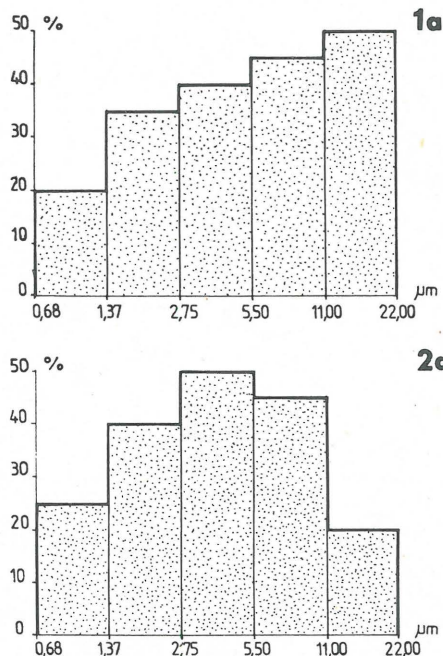
Ryc. 7. Mikrochondra w drobnej frakcji ziarn brekcji regolitowej z Łuny 20

Fig. 7. Microchondrule in fine grain fraction of Luna 20 regolith breccia

nia nie uległ zmianie. Zmniejszenie się porowatości ogólnej jest zgodne ze zmniejszeniem się średnicy widocznych pod mikroskopem por.

Próbkę 515 stanowi zamieszczona na fotografii (ryc. 4) ziarno brekcji regolitowej, pobrane z terenu morza Żyzności przez sondę Łuna-16. Ziarno to, nieregularnej formy, o średnicy około 0,70 mm, podobnie jak i poprzednie, już przy niewielkim powiększeniu ukazuje silnie porowatą strukturę. Wyliczenie, przeprowadzone przy powiększeniu 1000-krotnym na fragmencie brekcji przedstawionym na zamieszczonej fotografii (ryc. 5), wykazuje niższą porowatość 35,3% niż miało to miejsce w przypadku brekcji kontynentalnego pochodzenia. Wiązać to widocznie można ze spadkiem średniej średnicy por – od 3,53 do 2,99  $\mu\text{m}$ , czyli o ponad 0,5  $\mu\text{m}$ . Wyliczenia dokonane przy większym powiększeniu (ryc. 6), podobnie jak i dla poprzedniej próbki brekcji kontynentalnej, wskazują na spadek porowatości ogólnej, która przyjmuje tu wartość 31,7%. Wartość ta zbliżona jest do wartości porowatości ogólnej brekcji kontynentalnej przy tym samym powiększeniu.

Na fotografiach elektronomikroskopowych (ryc. 1–7) widoczne jest, że brekcje regolitowe są luźno zespolone agregatem ziarn i cząstek regolitu księżycowego. Regoliten będący efektem wietrzenia fizycznego skał powierzchni Księżyca (3) zbudowany jest przeważnie z luźnych ziarn mineralnych brekcji, bazaltów, anortozytów, szkliva i aglutynatów. Dowodem na to mogą być szkliste mikrochondry jak przedstawiona na ryc. 7, będąca typowym składnikiem regolitu. Mikrochondry jako efekt uderzeniowej przeróbki pierwotnego materiału skalnego powierzchni Księżyca, znalazły się w drobnoziarnistym regolicie, a następnie na skutek lityfikacji jako skała okruczowa weszły w skład brekcji budujących twardą powierzchnię skalną Księżyca. W wyniku działania procesów wietrzenia fizycznego fragmenty brekcji z powrotem weszły w skład luźnej masy



Ryc. 8. Histogram rozdziału ilości por w funkcji ich rozmiarów dla fragmentów księżycowych brekcji regolitowych

1 – dla brekcji z Łuny 20, 2 – dla brekcji z Łuny 16; a – przy powiększeniu 1000  $\times$ , b – przy powiększeniu 5000  $\times$

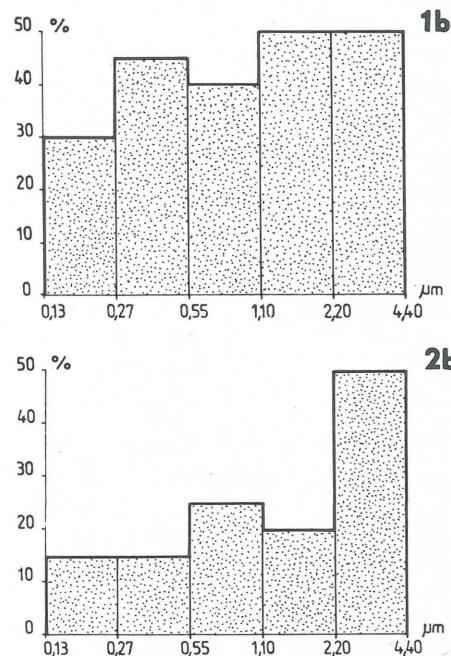


Fig. 8. Histogram of frequency distribution of pores in function of their size for the studied samples of Lunar regolith breccias

1 – breccias taken by Luna 20, 2 – breccias taken by Luna 16; a – at magnifications  $\times$  1,000, b – at magnifications  $\times$  5,000

CECHY MORFOMETRYCZNE BREKCI KSIĘŻYCOWYCH

Lp.	Próbka nr	ogólna porowatość %	ogólna powierzchnia por $\mu\text{m} \cdot 10^{-2}$	średnia powierzchnia por $\mu\text{m} \cdot 10^{-2}$		średnia średnica $\mu\text{m}$		współczynnik formy por
		zamk. otw.		zamk. otw.	zamk. otw.	zamk. otw.		
1	Łuna-20 (1a) 1000 ×	44,2	209046,16	9,81		3,53		0,57
2	Łuna-20 (1b) 5000 ×	31,7 10,8 20,8	5994,55	0,06	1,84	0,29	1,53	0,61
3	Łuna-16 (2a) 1000 ×	35,3	166966,36	7,06		2,99		0,57
4	Łuna-16 (2b) 5000 ×	32,1 13,1 18,9	6072,94	0,12	5,22	0,40	2,57	0,59

powierzchni regolitu (3), skąd wyseparowane zostały do badań. Wyraźnie mikroporowata struktura badanych brekcji świadczy o tym, że zarówno czynnik lityfikujący, jak i dezintegrujący nie należały do zbyt gwałtownych.

Porównując histogramy rozdziału por w funkcji ich rozmiarów (ryc. 8) wyraźnie zaznacza się odmienny rozkład por na histogramach próbki brekcji „morskiej” i kontynentalnej badanych przy powiększeniu 1000-krotnym. Na histogramie brekcji kontynentalnej zaznacza się stały wzrost częstości występowania por w kierunku wzrostu ich rozmiarów. Wiązać to można z dużą jednorodnością materiału klastycznego budującego brekcję. Ziarna tej próbki wyraźnie zwiększają stopniowo swoje rozmiary od części mikrometra do dziesiątków mikrometrów. W brekcji morskiej jest natomiast widoczne na histogramie wyraźne maksimum częstości występowania por o rozmiarach od 2,75 do 5,20  $\mu\text{m}$ , co przypisać można występowaniu przeważającej grupy ziarn o rozmiarach do 10  $\mu\text{m}$ . Potwierdza to fotografia SEM (ryc. 5). Wydawać się może, że w innych nie objętych skalą obserwacji przedziałach rozmiarów por występować mogą inne maksima, świadczące o niejednorodności związanej być może z niewielkim stopniem przetworzenia względnie młodego materiału brekcji morskiej. W przeciwieństwie do niej materiał brekcji kontynentalnej wykazując na histogramie silnie spłaszczony i rozciągający się poza skalę obserwacji pik, wydaje się być bardziej jednorodny strukturalnie, co wiązać można ze znacznym stopniem przetworzenia znacznie starszego materiału kontynentów Księżyca.

Histogramy uzyskane w wyniku analizy obrazów elektronomikroskopowych przy powiększeniach 5000 razy wykazują wyraźną dwumodalność. Zaznacza się w próbce kontynentalnej większa zdecydowanie częstość występowania ultrapor w granicach 0,27–0,55  $\mu\text{m}$ , co wskazuje na znacznie większą niż w próbce „morskiej” zawartość ultradrobnej frakcji ziarnowej pochodzenia najprawdopodobniej kondensacyjnego. Potwierdzają ten fakt obserwacje elektronomikroskopowe. Dużą zawartość tej ultradrobnej frakcji wiązać można zapewne z większą przeróbką i dłuższą ekspozycją gruntu księżycowych kontynentów na działanie czynników wietrzenia fizycznego i „wiatru” słonecznego. Histogram dla brekcji „morskiej” wykazuje niską częstość występowania por o wymiarach mniejszych od 2,20  $\mu\text{m}$ , co wiązać należy z małą zawartością cząstek regolitowych o wymiarach mniejszych od 2  $\mu\text{m}$ .

LITERATURA

- Grabowska-Olszewska B., Osipov V., Sokolov V. — Atlas of the Microstructure of Clay Soils. PWN, 1984, Warszawa.
- Grabowska-Olszewska B., Żbik M. — Próbkę gruntu księżycowego w Polsce. Prz. Geol. 1984 nr 7.
- Grabowska-Olszewska B., Żbik M. — Microstructural Features of Lunar Regolith. Bull. Acad. Pol. Sc. Earth Sc., 1985, vol. 33 no. 1–2.
- Sergeev Y.M., Spivak G.V. et al. — Quantitative morphological analyses in a SEM-microcomputer system. J. of Microscopy. 1983 vol. 135.

SUMMARY

The paper presents results of micromorphometric studies on two fragments of Lunar breccias: one from upland areas (taken by the automatic cosmic station Luna 20) and the other — from the Mare Fecunditatis (taken by the Luna 16). The studies involved micromorphometric analysis of pore space in the samples with the use of SEM, and automatic image analysis with the use of the apparatus Hitachi S-800/Iskra 226. Moreover, several parameters of pore space in the breccia samples were determined. The micromorphometric analysis of the two fragments of Lunar breccias showed fairly high homogeneity of detrital material in continental breccias, and structural immaturity of regolith breccia from the Mare Fecunditatis.

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты микроморфометрических исследований двух фрагментов лунных Breccий. Они происходят из возвышенных областей (доставленные Луной 20), а также из Маре Фекундитатис (доставленные Луной 16). Проведенные микроморфометрические анализы порового пространства образцов при помощи СЭМ и опираясь на автоматическом анализе изображения на комплекте Хитахи С-800/Искра 226, а также определен ряд параметров порового пространства исследованных Breccий. В результате микроморфометрического анализа двух фрагментов лунных Breccий выказана большая однородность обломочного материала в континентальных Breccиях и структурная незрелость реголитовой Breccии из Маре фекундитатис.