

CECHY MORFOLOGICZNE PORÓW I ICH ZWIĄZEK Z GENEZĄ METEORYTÓW KAMIENNYCH

UKD 552.63'12:539.217.1.001.33:537.533.6:[552.511:521.61

Jednym z ważniejszych elementów struktury skał jest obecność porów stanowiących przestrzeń porową, której morfologia zawiera wiele informacji o genezie i historii skał. Procesy geologiczne, którym skały podlegają pozostawiają po sobie zapis w postaci charakterystycznych cech morfologicznych przestrzeni porowej. Nakładanie się na siebie wielu procesów geologicznych jest powodem dużej różnorodności tych cech. Badanie zatem morfologii przestrzeni porowej skał stanowić może źródło danych, dotyczących ich genezy.

Celem niniejszej pracy było, po rozpoznaniu poszczególnych cech morfologicznych przestrzeni porowej skał meteorytów kamiennych, ich klasyfikacja oraz próba wskazania związków genetycznych pomiędzy tymi cechami, jak również procesów, którym podlegały skały meteorytowych ciał macierzystych. Na podstawie obserwacji porów 14 próbek meteorytów kamiennych przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego SEM (7) zidentyfikowano siedem głównych form morfologicznych, składających się na urozmaicony obraz przestrzeni porowej skał tych drobnych ciał kosmicznych.

Zaobserwowanymi formami przestrzeni porowej meteorytów kamiennych są:

1. Spękania, widoczne jako wolne przestrzenie silnie anizometryczne powstałe na skutek rozerwania spójności składników budowy skał bez ich przemieszczenia się (ryc. 1).

2. Szczeliny, obserwowane jako wolne przestrzenie silnie anizometryczne powstałe w wyniku mechanicznych

rozsunieć w strefach osłabień spójności skały, rozwiniętych na systemach spękań, przecinających składniki budowy skały, bądź pojawiających się pomiędzy oddzielnymi składnikami budowy na skutek różnic ich własności (ryc. 2).

3. Pory międzykrystaliczne, występujące jako wolne przestrzenie izometryczne i anizometryczne powstałe na skutek różnej przestrzennej orientacji kryształów (ryc. 3).

4. Pory międzyziarnowe, w postaci wolnych przestrzeni izometrycznych i anizometrycznych powstałych w wyniku niewypełnienia przestrzeni pomiędzy składnikami budowy skały (ryc. 4).

5. Pęcherzyki, występujące jako wolne przestrzenie izometryczne stanowiące inkluzje gazowe bądź gazowo-ciekłe. Pod względem obrysu można je podzielić na:

- pęcherzyki o przekroju kolistym (ryc. 5).
- pęcherzyki o przekroju czworokątnym (ryc. 6).

6. Kanaliki, jako wolne przestrzenie silnie anizometryczne i anizometryczne stanowiące inkluzje gazowe i gazowo-ciekłe powstające w procesie degazacji skały i transportu jej produktów. Podzielić je można na:

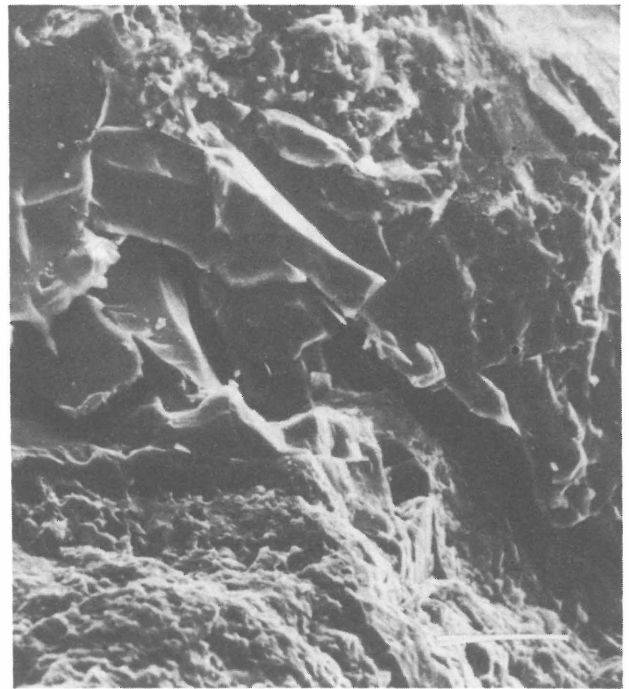
- kanaliki zamknięte, izolowane, wewnątrz poszczególnych składników skały meteorytowej (ryc. 7).
- kanaliki otwarte, komunikujące się bądź aktualnie zamknięte, wykorzystujące najczęściej szczeliny pomiędzy poszczególnymi składnikami budowy. Na ściankach takich kanałków widoczne są często kondensacyjne pokrywy przemieszczanych produktów degazacji (ryc. 8).

7. Vugi, wolne przestrzenie o nieregularnych kształtach.



Ryc. 1. Spękania w meteorycie Ness County 1894 (skala 10 μm)

Fig. 1. Joints in meteorite Ness County 1894 (scale — 10 μm)



Ryc. 2. Szczelina w meteorycie Faith (skala 50 μm)

Fig. 2. Fissure in meteorite Faith (scale — 50 μm)



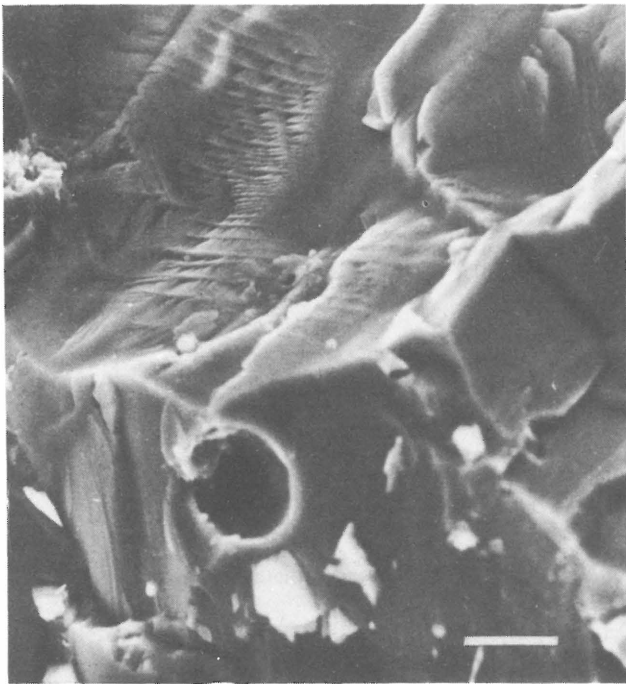
Ryc. 3. Pory międzykrystaliczne w meteorycie Ness County 1894 (skala 2 μm)

Fig. 3. Pores intercrystalline in character in meteorite Ness County 1894 (scale - 2 μm)



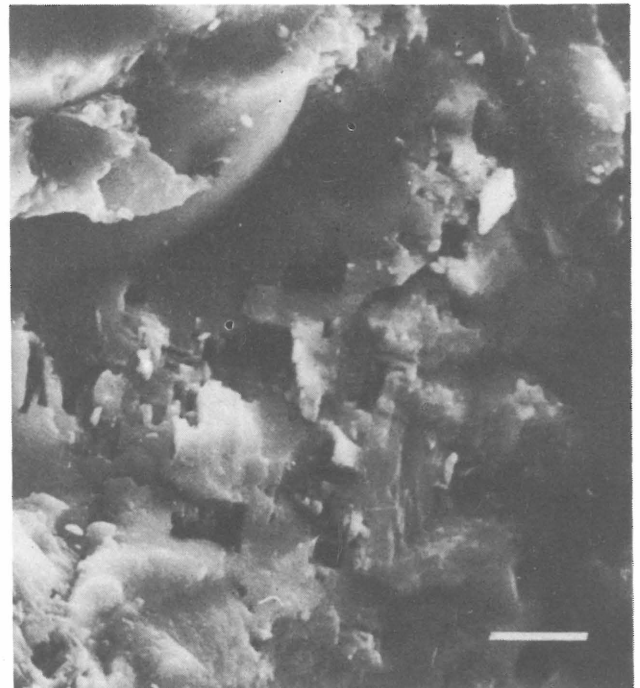
Ryc. 4. Pory międzyziarnowe w meteorycie Krymka (skala 2 μm)

Fig. 4. Intergranular pores in meteorite Krymka (scale - 2 μm)



Ryc. 5. Pęcherzyki o przekroju kolistym w meteorycie Yamato 74013 (skala 10 μm)

Fig. 5. Subcircula vessicles in meteorite Yamato 74013 (scale - 10 μm)



Ryc. 6. Pęcherzyki o przekroju prostokątnym w meteorycie Melrose (skala 5 μm)

Fig. 6. Vessicles rectangular in cross-section in meteorite Melrose (scale - 5 μm)

anizometryczne, miejscami izometryczne, komunikujące się ze sobą bądź zamknięte, położone zazwyczaj na drogach transportu par (żyłki wypełnione krystalizacją wtórną). Ściany vug pokryte są często produktami kondensacji par i aerozolami przemieszczanymi w wyniku degazacji skał w procesach udarowych (ryc. 9).

Wartości porowatości efektywnej tzn. takiej, kiedy pory połączone są ze sobą we wspólny komunikujący się system,

uzyskane dla części próbek na porozymetrze rtęciowym firmy Carlo-Erba są małe i zawierają się jak wynika z tabeli, w granicach od około 1 do 8%.

Na dziewięć próbek poddanych badaniom porozymetrycznym tylko dla 6 z nich udało się otrzymać diagramy zawartości porów o określonej średnicy zamieszczone na ryc. 10. Próbkę te charakteryzują się stosunkowo najwyższymi wartościami porowatości efektywnej. Pozostałe



Ryc. 7. Kanalik zamknięty w meteorycie Krymka (skala 10 μm)

Fig. 7. Closed channel in meteorite Krymka (scale - 10 μm)



Ryc. 8. Kanalik otwarty w meteorycie Pillistfer (skala 5 μm)

Fig. 8. Open channel in meteorite Pillistfer (scale - 5 μm)

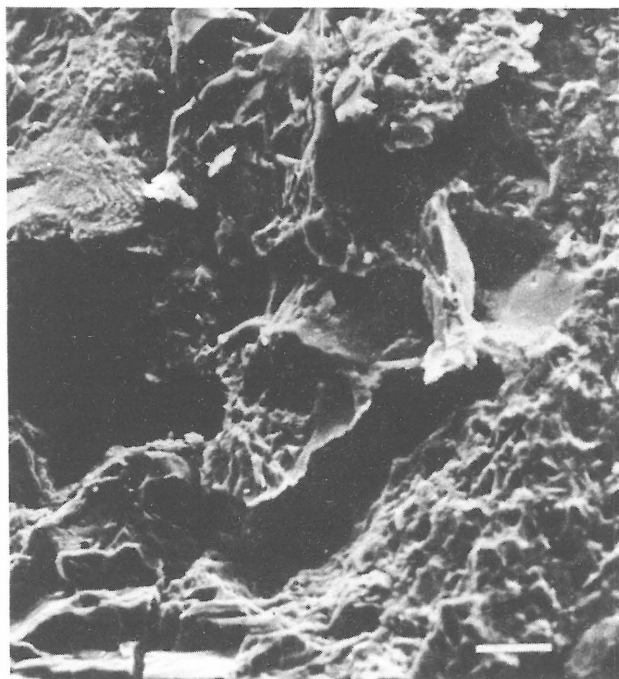


Fig. 9. Vugs in meteorite Covert (scale - 40 μm)

3 próbki są absolutnie szczelne a uzyskiwane dla nich wartości porowatości efektywnej wynikać mogą z pozostawania rtęci na nierównościach ścian próbki. Pomimo negatywnego wyniku badań porowatości efektywnej, próbki te jak wynika z badań elektronmikroskopowych charakteryzują się występowaniem porowatości zamkniętej. W niektórych przypadkach o stosunkowo wysokiej porowatości zamkniętej świadczyć może m.in. niska wartość gęstości objętościowej np. dla meteorytu Faith.

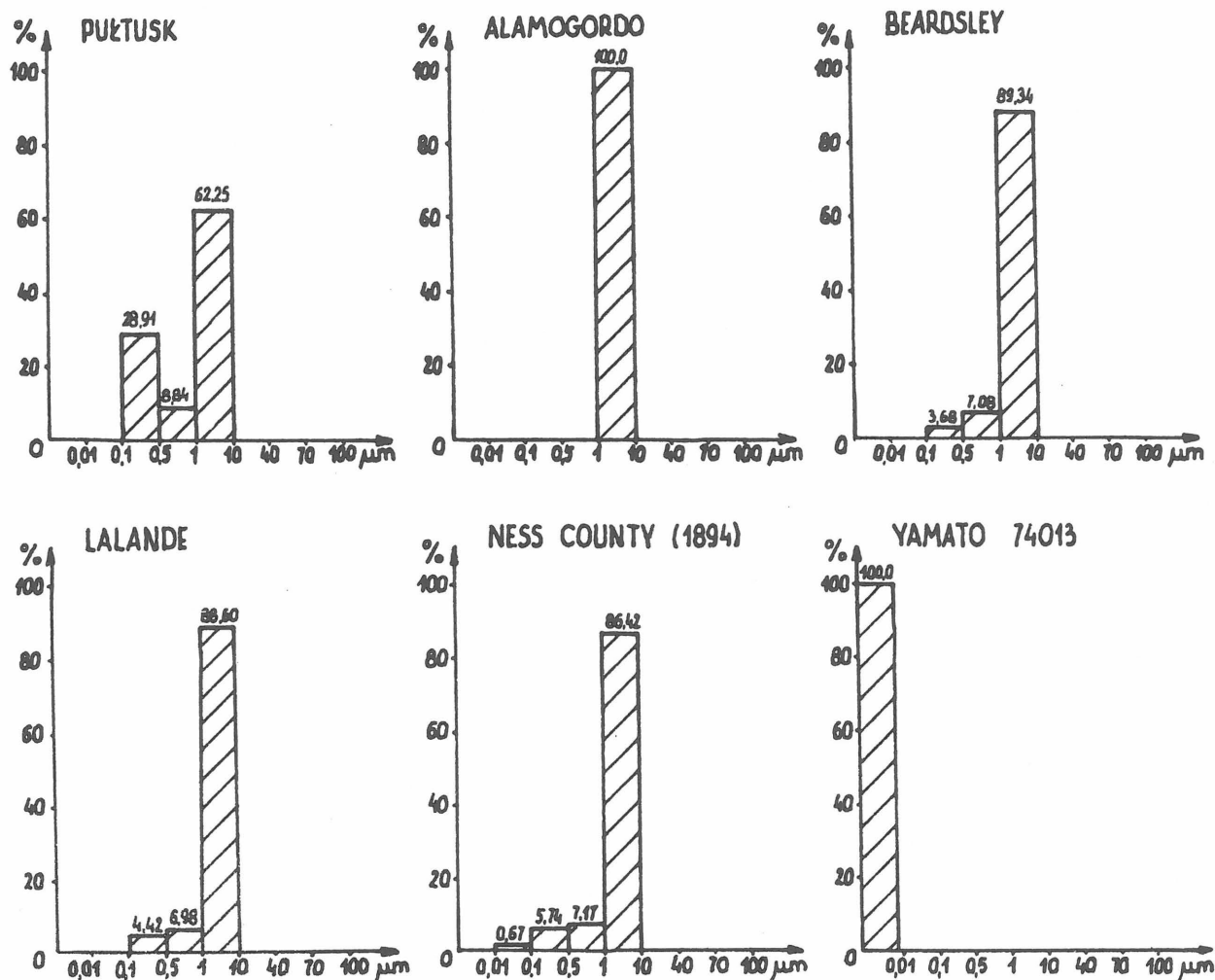
Typowymi formami morfologicznymi występującymi

ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ WŁASNOŚCI FIZYCZNYCH PRZEBADANYCH PRÓBEK

Nr próbki	Nazwa meteorytu	Typ petrograficzny	Gęstość objętościowa $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$	Porowatość %	Powierzchnia właściwa porów $10^6 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$
1	Krymka	LL3	3,35	6,70	—
2	Příbram	H5			
3	Staroe				
4	Pesyanoë	achon	3,02	15,10	—
4	Yamato 74013	diogenit	3,53	8,01	14,08
5	Pillistfer	E6	—	—	—
6	Adhi-Kot	E4	—	—	—
7	Faith	H5	3,27	1,79	2,62
8	Melrose	L5	3,43	0,94	1,61
9	Pułtusk	H5	3,45	4,45	1,40
10	Alamogordo	H5	3,57	4,13	3,77
11	Beardsley	H5	3,47	5,63	6,04
12	Covert	H5	3,35	2,88	3,20
13	La Lande	L5	3,40	3,51	4,35
14	Ness County (1894)	L6	3,37	5,74	3,86

w tych szczelnych dla rtęci meteorytach są pęcherzyki, kanaliki oraz vugi. Formy te, jak wykazały obserwacje, są podstawowymi składnikami porowatości zamkniętej. Pęcherzyki i kanaliki zamknięte w skale meteorytowej występują wewnątrz poszczególnych składników budowy skały. Zauważyć można płynne przejście pomiędzy pęcherzykami i kanalikami zamkniętymi. Obie te formy morfologiczne wydają się być zbliżone genetycznie do inkluzji gazowych i gazowo-ciekłych. Pęcherzyki o przekroju kołistym występują najczęściej w szkliwie, natomiast pęcherzyki o przekroju czworokątnym spotyka się głównie w minerałach o dobrze widocznych płaszczyznach łupliwości odpowiadających ich krystalicznej budowie. Kanaliki otwarte, a raczej ich fragmenty, a także vugi, jako formy morfologiczne porowatości zamkniętej, występują w przebadanych próbkach meteorytów kamiennych pomiędzy różnymi składnikami budowy skały.

Wyżej wymienione formy morfologiczne wyodrębniono



Ryc. 10. Rozkład wymiarów porów w meteorytach kamiennych

Fig. 10. Distribution of size of pores in stony meteorites

jako składniki porowatości zamkniętej zarówno na podstawie obserwacji elektronomikroskopowych, jak i dlatego, że są to najczęściej spotykane formy morfologiczne porów w próbkach meteorytów praktycznie pozbawionych porowatości efektywnej. W pozostałych próbkach, dla których oznaczono porowatość efektywną (1, 7) stwierdza się dalsze formy morfologiczne porów będące składnikami systemu porowatości efektywnej. Jako składniki porowatości efektywnej wydzielono pory międzykrystaliczne i międzyziarnowe, spękania oraz szczeliny.

Jak to wynika z porównania typu petrograficznego meteorytu i występujących w próbce cech morfologicznych przestrzeni porowej stwierdzić można, że w próbkach nie zmetamorfizowanych bądź słabo zmetamorfizowanych (Krymka, Staroe Pesyanoe, Yamato, Faith) wyróżnić można pory międzyziarnowe i międzykrystaliczne jako najbardziej pierwotne składniki komunikującego się systemu porowego w skale. W miarę wzrostu stopnia metamorfizmu znaczenie tych porów zmniejsza się na korzyść porów charakterystycznych dla porowatości zamkniętej. Łączy się to ze zmniejszaniem się ogólnej porowatości próbek. Wynikać to może z faktu, że na skutek silnych procesów metamorfizmu impaktowego pory występujące w skale stają się drogami penetracji płynnych i gazowych produktów topienia w wyniku czego większość przestrzeni zaliczanej do porowatości pierwotnej wypełnionej zostaje szkliwem oraz produktami wtórnej mineralizacji, przeważnie siarczkowej. Drożność połączeń w systemie porów ulega w wyniku tego przerwaniu. Ślady transportu ewa-

poratów poprzez pierwotny system porów skały ujawniają się w postaci licznych pokryw kondensacyjnych przemieszczanych produktów degazacji. Gina tu w zasadzie pory międzyziarnowe przechodząc w wugi i kanaliki otwarte. Dawne przestrzenie porów cementowane są produktami kondensacji ewaporatów i szkliwem. Na fotografiach tych typów skał meteorytowych widoczne są różnych rozmiarów i nieregularnych kształtów wugi wolne nie wypełnione do końca produktami topienia i degazacji skał, przestrzenie, relikty dawnej przedmetamorficznej porowatości. Widoczne są też pozatykane w wielu miejscach fragmenty kanalików uprzednio drożnych, będących również drogami transportu gorących produktów degazacji skał.

Kanaliki te rozwijały się najprawdopodobniej w warunkach występowania porów międzyziarnowych i spękań udarowych. Proces transportu par, doprowadzający w efekcie do uszczelnienia skały, był zapewne czynnikiem jej przebudowy w kierunku ujednolicenia składu petrograficznego. Wugi obserwowane w badanych próbkach występują najczęściej na dających się prześledzić drogach transportu par i związane są zazwyczaj z krystalizacją rezidualną przeważnie troilitu. Podobne zjawisko wtórnej mineralizacji i powstawania wug opisuje na przykładach próbek brekcji księżycowych McKay i inni (3). Podobne elementy porowatości przejawiają brekcje księżycowe, opisane w pracy Cimbalnikovej (2).

Jeszcze przed zbadaniem w ziemskich laboratoriach pierwszych próbek skał, dostarczanych z powierzchni Księżyca, wielu autorów, zajmujących się badaniem me-

teorytów kamiennych, przewidywało podobieństwa pomiędzy budową meteorytów i niektórych skał księżycowych. Do dziś toczy się jednak otwarta dyskusja na temat genezy meteorytów. Po opublikowaniu wyników badań próbek skał księżycowych w wielu artykułach wskazywano na związek procesów, kształtujących brekcje księżycowe i meteority kamienne.

Wspólnych cech meteorytów i brekcji księżycowych doszukuje się wielu autorów. Podkreśla się często pewne podobieństwo budowy i genezy chondr księżycowych i meteorytowych. Sądzić należy, że zarówno chondry, spotykane w gruncie księżycowym, jak i w meteorytach kamiennych (chondrytach), są pochodzenia uderzeniowego. Jako ciała macierzyste meteorytów wymienia się na ogół małe ciała kosmiczne z pasa planetoid (5). Problem podobieństwa metamorfizmu chondrytów i brekcji księżycowych porusza Warner (6), co przemawia za analogią procesów zachodzących na powierzchni Księżyca i planetoid.

Obserwowany w meteorytach spadek porowatości wraz ze wzrostem stopnia metamorfizmu zauważony został również w badaniach brekcji księżycowych. Według Minkina i in. (4) oraz McKaya i in. (3) największą porowatością charakteryzują się nie zmetamorfizowane brekcje „regolitowe”. W miarę jednak zwiększania się stopnia metamorfizmu spada ich pierwotna porowatość, zachowując jednak przynajmniej około 5% porów w formie pęcherzyków i vug. Podobny wniosek nastroczą przedstawione wyżej wyniki badań meteorytów kamiennych. A więc meteority kamienne, jako fragmenty pokryw wyrzutowych ciał planetoidalnych wydają się genetycznie być podobne do brekcji księżycowych sugerując podobieństwo procesów, prowadzących do ich powstania.

LITERATURA

1. Aleksiejewa O. M. — Doswid popiwnialnich doslidzeń fizycznych właściwoctiej kamianich mieteoritib-ta diejakich girskich porid. Kijew 1958.
2. Cimbalkova A., Palivcova M. — Zalklidni typu castic mesicniho regolitu z Luny 16. Praha 1975.
3. McKay D. S., Calanton U. S., Morrison
4. Minkin J. A., Best J. B. — Apollo 14 breccias: General characteristic and classification. *Ibidem*.
5. Simonienko A. N. — Mietieoryty oskołki astieroidow. Nauka, Moskwa 1979.
6. Warner J. L. — Metamorphism of Apollo 14 breccias. *Geochem. et Cosmoch. Acta Suppl.* 3, 1972.
7. Żbik M. — Pore spaces in stony meteorites. *Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sc. Terre*, z. 1/2 1982.

SUMMARY

SEM studies of stony meteorite samples made it possible to differentiate seven basic morphological forms of pore space. Effective porosity tests were carried out with the use of the Carlo-Erba mercury porosimeter. The samples were found to be characterized by low effective porosity. SEM micrographs show that this is due to closing of permeable pore system in the course of metamorphic processes. Pore space in stony meteorites is shown to be similar in morphology to that of some lunar breccias, genetically related to the ejecta blanket.

РЕЗЮМЕ

На основе наблюдений проб каменных метеоритов под сканирующим электронным микроскопом была проведена их классификация на семь основных морфологических форм выступления в них поровых пространств. Были также сделаны исследования эффективной пористости на ртутном порометре итальянской фирмы Карло Эрба. Обнаружено, что исследуемые пробы характеризуются, в общем, довольно малой эффективностью. Из анализа сделанных под электронным микроскопом фотографий следует, что это связано с закрытием проходимого типа систем пор во время морфологических процессов. Указано на сходство морфологических характеристик порового пространства каменных метеоритов и некоторых лунных брекчий, что связано генетически с покровом выбросов.