

MINERAŁY KOSMOSU

UKD 549.1[552.6+552.3(523.3)

Minerały meteorytów, pyłów kosmicznych, skał księżycowych i szkliva tektytów stanowią bezcenne dokumenty w poznaniu pozaziemskiej materii. Wartość tych materiałów oceniono stosunkowo niedawno i dlatego w ostatnich latach obserwuje się gwałtowny rozwój kosmomineralogii.

MINERAŁY METEORYTÓW

Jednym z pierwszych, który ogłosił rozprawę naukową o meteorytach był Chladni (1794). W tych odległych czasach żywe było także zainteresowanie meteorytyką wśród polskich uczonych. Jundziłł (1761—1847), K. L. Kortum (ur. 1749) i F. Makólski komentowali wyniki Chladniego i zapoczątkowali badania meteorytów w Polsce. Szczegółowe zestawienie stanu posiadania meteorytów oraz wykonanych w Polsce prac z zakresu meteorytyki zawdzięczamy J. Pokrzywnickiemu (9).

Dokładne badania mineralogiczne meteorytów datują się od czasu zastosowania mikroskopu polaryzacyjnego. W pierwszej monograficznej pracy z roku 1885 G. Tschermak przedstawił opisy 18 minerałów występujących w meteorytach, w tym 4 minerały nie znane w skałach ziemskich. W następnych 70 latach (1885—1955) obserwuje się słabe zainteresowanie minerałami meteorytów, w tym bowiem okresie opisano tylko 12 minerałów występujących w meteorytach (tab. I). Na uwagę zasługują zwłaszcza prace O.C. Faringtona (1), F. Heide (2) i E. L. Krinowa (3).

Gwałtowna zmiana nastąpiła po 1955 r. Automacyjne sondy i statki kosmiczne, a zwłaszcza pierwszy lot J. Gagarina, otwały perspektywę penetracji przestrzeni kosmicznej przez człowieka. Z jakich minerałów i skał zbudowane są planety naszego układu słonecznego? Jakie minerały i skały występują na

Księżycu? W krótkim czasie powstały w ZSRR, USA zespoły mineralogów, które podjęły szczegółowe badania meteorytów, zalegających do niedawna w gablotach muzealnych. Przy Międzynarodowej Asocjacji Mineralogicznej utworzono specjalną sekcję do spraw meteorytów. W parze z tym nastąpił szybki rozwój fizycznych i chemicznych metod badań minerałów.

Minerały meteorytów badane niedawno, głównie mikroskopowo, są obecnie analizowane metodami rentgenowskimi, fluorescencyjnymi, aktywacji neutronowej, spektrofotometrii w podczerwieni itp. Nieocenione usługi oddają nowoczesne metody rentgenowskiej analizy spektralnej w mikroobszarze (mikrosondy elektronowe). Za pomocą mikrosondy elektronowej można oznaczać z dużą dokładnością skład chemiczny nawet bardzo drobnych ziarn (do 2μ) w sposób nieniszczący próbek. W efekcie intensywnych prac w ostatnich 15 latach zbadano szczegółowo około 1500 meteorytów odnotowując ponad 30 minerałów w tym 13 nie stwierdzonych w skałach ziemskich (tab. II). Równoległe z badaniami mineralogicznymi wykonano szczegółowe badania chemiczne, oznaczenia wieku i przeszłości termicznej.

Grupą najliczniejszą są meteoryty kamienne, które stanowią 92,6% znanych nam meteorytów (tab. III). Głównymi ich minerałami są krzemiany. W meteorytach kamienno-żelazistych obok minerałów krzemianowych występują pokaźne ilości żelaza niklowego (Fe, Ni), a w żelazistych (Fe, Ni) jest składnikiem głównym. A oto krótka charakterystyka najważniejszych minerałów skałotwórczych meteorytów.

Oliwiny. Występują zwykle odmiany o składzie 15—30% mol. $Fe_2[SiO_4]$. W chondrytach tworzą małe kuliste skupienia (chondry), o charakterystycznej strukturze ekscentryczno-promienistej, rzadziej por-

Tabela I

MINERAŁY METEORYTÓW POZNANE W LATACH 1885—1955

Nazwa minerału	Skład chemiczny	Rozpoznane w latach
Kamacyt	(Fe,Ni) (Ni < 7,5%)	do 1885 r.
Tenit	(Fe,Ni) (Ni 8—55%)	
Grafit	C	
Schreibersyt* (rhabdyt)	(Fe,Ni) ₃ P	
Osbornit*	TiN	
Troilit	FeS	
Oldhamit*	CaS	
Daubréelit*	FeCr ₂ S ₄	
Magnezyt	MgCO ₃	
Magnetyt	Fe ₃ O ₄	
Chromit	FeCr ₂ O ₄	
Trydymit	SiO ₂	
Oliwin	(Mg,Fe) ₂ [SiO ₄]	
Pirokseny rombowe	(Mg,Fe) ₂ [Si ₂ O ₆]	
Pirokseny jednoskośne	(Ca,Mg,Fe) ₂ [Si ₂ O ₆]	
Plagioklasy	(Na,Ca)[(Si,Al) ₄ O ₈]	
Chalypit* (?)	Fe ₂ C	
Siderazot (silvestryt) (?)	Fe ₂ N—Fe ₃ N	
Diamant	C	1855—1915
Moissanit	SiC	
Cohenit	Fe ₃ C	
Lawrencyt*	(Fe,Ni) Cl ₂	
Kwarc	SiO ₂	
Apatyt chlorowy	Ca ₅ [PO ₄] ₃ Cl	
Whitlockit	β-Ca ₃ [PO ₄] ₂	1915—1934
Apatyt węglanowy* (francolit, merillit)	Ca ₅ [PO ₄ CO ₃ OH] ₃ F	
Miedź rodzima	Cu	1934—1955
Złoto rodzime	Au	
Kalcyt	CaCO ₃	
Serpentyn	(Mg,Fe) ₃ [(OH) ₂ Si ₄ O ₁₀]	

* — minerały nie stwierdzone w skałach ziemskich,
(?) — wątpliwe.

firowej. Zastanawiająca jest ta niespotykana w skałach ziemskich struktura chondrytów. Geneza chondrytów stanowi ciągi przedmiot dociekań.

Pirokseny. W meteoroidach stwierdzono różne odmiany piroksenów, lecz zwykle są to pirokseny rombowe. W klasyfikacji G. T. Priora (10) wyróżnia się chondryty enstatytowe, bronzytowe i hiperstenowe. Pirokseny jednoskośne częściej występują w achondrytach. Skład chemiczny piroksenów, podobnie jak i oliwinów jest różny w poszczególnych meteoroidach kamiennych i kamienno-żelazistych i zwykle ze wzrostem udziału (Fe, Ni) wzrasta zawartość Fe w tych minerałach. Z piroksenów zbudowane są również chondry, tj. kuliste skupienia pręcików piroksenów rozmieszczone w chondrytach ekscentryczno-promieniście (ryc. 1).

Plagioklasy. Występują pospolicie w małych ilościach w wielu meteoroidach kamiennych. Są to zwykle odmiany szeregów bytownit-anortyt i albit-oligoklaz. W meteoroidach tych stwierdzono także szklivo o składzie plagioklazów (maskelinit). Wysokotemperaturowe odmiany plagioklazów są prawdopodobnie produktem dewitryfikacji maskelinitu.

Serpentyn. Mineral ten występuje w meteoroidach węglistych, budzących duże zainteresowanie ze względu na charakterystyczny skład chemiczny. Po raz pierwszy został opisany przez L. G. Kwasha (4)

Tabela II

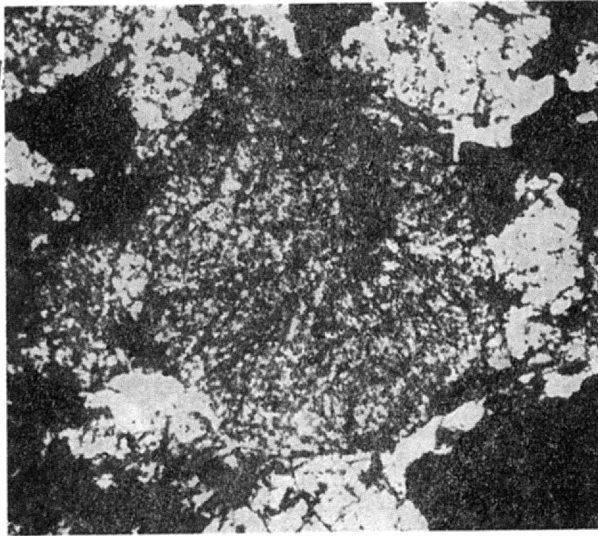
MINERAŁY METEORYTÓW POZNANE PO 1955 R.

Nazwa minerału	Skład chemiczny	Rozpoznano w roku
Ilmenit	FeTiO ₃	1956
Alabandyn	(Mn,Fe)S	1960
Pentlandyt	(Fe,Ni) ₉ S ₈	
Krystobalit	SiO ₂	
Spinel	MgAl ₂ O ₄	
Epsomit (?)	MgSO ₄ · 7H ₂ O	1961
Farringtonit*	Mg ₃ [PO ₄] ₂	
Siarka (?)	S	1962
Dolomit	CaMg[CO ₃] ₂	
Gips (?)	CaSO ₄ · 2H ₂ O	
Blödnyt (?)	Na ₂ Mg[SO ₄] ₂ · 4H ₂ O	
Piryt	FeS ₂	1963
Sfaleryt	ZnS	
Kubanit	CuFe ₂ S ₃	
Chalkopiryt	CuFeS ₂	
Vallerit	CuFeS ₂	
Sinoit*	Si ₂ N ₂ O	1964
Cyrkon	Zr[SiO ₄]	
Perryt	Ni ₃ Si	1965
Mackinawit	FeS	
Ureyit	NaCr[Si ₂ O ₆]	
Merrillueit*	(K,Na) ₂ (Fe,Mg) ₃ Si ₁₂ O ₃₀	
Djerfisheryt*	K ₃ (Cu,Na)(Fe,Ni) ₁₂ S ₁₄	1966
Gentneryt*	Cu ₂ Fe ₂ Cr ₁₁ S ₁₈	
Rutyl	TiO ₂	
Graftonit	(Fe,Mn) ₃ [PO ₄] ₂	
Sarkopsyd	(Fe,Mn) ₃ [PO ₄] ₂	
Panethyt*	Na ₂ Mg ₂ [PO ₄] ₂	
Brianit*	Na ₂ MgCa[PO ₄] ₂	
Roedderyt*	(K,Na) ₂ Mg ₂ Si ₁₂ O ₃₀	
Niningeryt*	(Fe,Mg,Mn,Ca,Cr)S	1967
Stanfieldyt*	Mg ₃ Ca ₄ Fe ₂ [PO ₄] ₆	
Richteryt	Na ₂ Ca(Mg,Fe,Mn,Al) ₃ [(OH,F)Si ₄ O ₁₂] ₂	
Yagiiit*	Na—Mg analog osumilitu	1968
Krinowit*	NaMg ₂ CrSi ₅ O ₁₀	
Ringwoodyt*	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	1969

* — minerały nie stwierdzone w skałach ziemskich,
(?) — wątpliwe, prawdopodobnie produkty wietrzeńca meteoroidów na Ziemi.

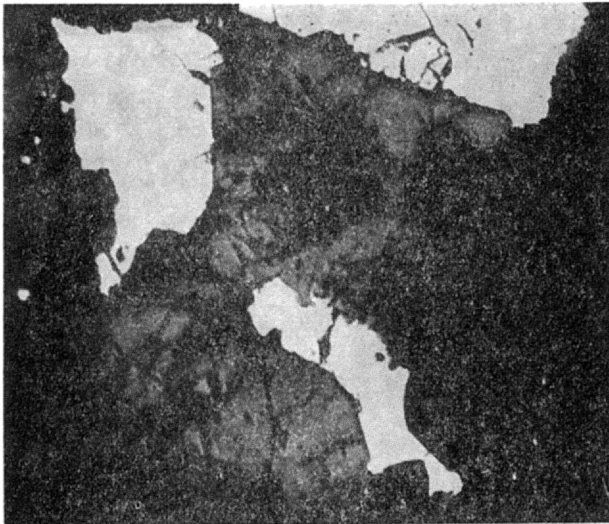
w węglistym meteoroidzie Boryskino. Późniejsze badania za pomocą mikroskopu elektronowego wykazały, że wykształcony on jest w postaci drobnych kilkuset angstromowych krystalitów tkwiących w substancji węglistej. W innych meteoroidach nie stwierdzono tego typu minerałów. Przypuszcza się, że meteoroidy węgliste reprezentują najbardziej pierwotną materię układu słonecznego.

Żelazo-nikiel obecny jest prawie we wszystkich meteoroidach z wyjątkiem meteoroidów węglistych i niektórych chondrytów i achondrytów. W XIX w. był zwyczaj wprowadzania odrębnych nazw dla niewiele różniących się odmian minerału, które występują w różnych meteoroidach. S. Meunier opublikował w 1893 r. wyniki badań żelaza meteoroidycznego



Ryc. 1. Chondra piroksenowa z meteorytu pultuskiego. Nikole X, pow. 60 X (Fot. A. Manecki).

Fig. 1. Pyroxene chondrule of the Pultusk meteorite. Crossed nicols, enl. X 60 (Phot. by A. Manecki).



Ryc. 2. Kamacyt (biały) i chromit (szary) w meteorycie pultuskim. Światło odbite, 1 nikol, pow. 200 X (Fot. A. Manecki).

Fig. 2. Camacite (white) and chromite (grey) in the Pultusk meteorite. Reflected light, 1 nicol, enl. X 200 (Phot. by A. Manecki).

i wprowadził 22 nazwy jego odmian utworzone od miejsc opadnięcia meteorytu; agramit, arvait, bendigit, burlingtonit, caillit, campbellit, carltonit, catarinit, cahuilit, dicksonit, ieknit, jewellit, kendallit, lenartyt, lickportyt, madocyt, nelsonit, rocyt, schwetzyt, tazawellit, thundyt, tucsonit. Nazwy te zostały wyprowadzone z użycia. Żelazo niklowe jest najbardziej rozpowszechnioną odmianą żelaza rodzimego, występującą w meteorytach. Przeważną część meteorytów żelazistych składa się z ubożego w Ni kamacytu (7,5% Ni — tzw. żelazo belkowe) i zasobnego w Ni tenitu (8—55% Ni — tzw. żelazo wstępowe), a także z plessytu (tzw. żelazo wypełniające), który jest drobnolamelkowym agregatem kamacytu i tenitu.

Schreibersyt rozpoznany przez W. Haidingera (1847) występuje pospolicie jako akcesoryczny mine-

Tabela III
OGÓLNA KLASYFIKACJA METEORYTÓW

Grupa	%	Minerały główne	Minerały poboczne
Kamienne (aerolity): Chondryty	84,6	oliwiny, pirokseny	plagioklazy, (Fe,Ni) troilit, serpentyt.
Achondryty	8,0	pirokseny, plagioklazy (Fe,Ni)	oliwiny, troilit, (Fe,Ni) plagioklazy, troilit,
Kamiennie-żelaziste (syderolity)	1,6	oliwiny, pirokseny (Fe,Ni)	schreibersyt
Żelaziste (syderyty)	5,8		

Tabela IV
SKAŁY KSIĘŻYCOWE (STREFA SW MARE TRANQUILLITATIS)

Brekcje	52,4 %
Bazalty	37,4
Anortozyty	3,6
Szkliwa	5,1
Inne (+ fragmenty meteorytów)	1,5

Tabela V
SKŁAD MINERALNY GRUBYCH I DROBNYCH FRAKCJI SKAŁ KSIĘŻYCOWYCH (J.A. WOOD ET AL.)

Wielkość okruchów w mm	% wag.	Skład
10,0—1,0	10	Polimineralne okruchy skał, zeszkłone okruchy skał, kuliste i ostrokrawędziste okruchy szkliwa, fragmenty meteorytów.
1,0—0,025	90	W przewadze fragmenty pojedynczych minerałów, głównie piroksenów, plagioklazów, ilmenitu i oliwinu oraz szkliwa.
<0,025		Szkliwo

rał zwykle w asocjacji z fazą (Fe, Ni). Schreibersytu nie stwierdzono w skałach ziemskich.

Chromit jest akcesorycznym minerałem wielu meteorytów kamiennych (ryc. 2), z wyjątkiem enstatytowych chondrytów, w których chrom koncentruje się w daubrécie, minerale nie znanym w skałach ziemskich.

Grafit jest akcesorycznym minerałem niektórych meteorytów. Największe koncentracje pierwiastka C występują w meteorytach węglistych w postaci grafitu lub jego odmian. Diamenty stwierdzono w kilku meteorytach kamiennych, m.in. w meteorycie Canyon Diablo, gdzie jego obecność interpretuje się jako wynik zderzenia się z Ziemią.

Szczegółowe opisy wielu minerałów zwłaszcza nieprzejrzystych przedstawił P. Ramdohr (11), m. in.: złoto i miedź rodzime, sfaleryt, chalkopiryt, valleriit, mackinavit, spinel, chalkopiryt i troilit.

Opisywane niejednokrotnie w meteorytach minerały uwodnione budzą, z wyjątkiem serpentynu, wątpliwość czy są to minerały pierwotne. Gips i epsomit mogły utworzyć się w wyniku wietrzenia meteorytów w warunkach ziemskich. Analogiczne wątpliwości budzą te tlenki i siarczki żelaza, które stwierdzono w strefach zewnętrznych dawno spadłych meteorytów; mogły się one również utworzyć w wyniku wtórnych procesów na Ziemi.

Tabela VI

SKŁAD MINERALNY LUŻNEGO MATERIAŁU KSIĘŻYCOWEGO
O WIELKOŚCI ZIARN 147—74 μ (J.A. WOOD ET AL.)

Szklivo	50 %
Pirokseny	25
Plagioklasy	15
Ilmenit	8
Oliwin	1
Inne (trydymit, kwarc, krystobalit, troilit, Fe, Ni, cyrkon, nieziden- tyfikowane)	1

Tabela VII

MINERAŁY GŁÓWNE W BAZALTACH KSIĘŻYCOWYCH Z MARE
TRANQUILLITATIS (J.A. WOOD ET AL.)

Odmiana skały	Pirokse- ny	Ca-pla- gioklasy	Ilmenit
	% obj.		
Bazalt gruboziarnisty	61	28	11
Bazalt średnioziarnisty	48—61	24—42	8—18
Bazalt drobnoziarnisty	51	22	27

Wśród minerałów meteorytów występują nie stwierdzone na Ziemi węgliki, azotki, fosforiki, fosforany, siarczki oraz minerały, w których Si nie jest związany w krzemianach, np.: perylit, sinoit czy ringwoodyt ($Mg, Fe)_2SiO_4$, który jest spinelem analogiem krzemianu oliwinu ($Mg, Fe)_2[SiO_4]$. Nie ulega wątpliwości, że charakterystyczne zespoły mineralne wielu meteorytów, udział fazy (Fe, Ni), obecność minerałów nie stwierdzonych w skałach ziemskich oraz formy skupień minerałów (chondry!) nie znane na Ziemi, wszystko to jest przedmiotem szczegółowych badań mineralogów w celu wyjaśnienia procesów tworzenia się tych ciał. Wiele meteorytów jest bardzo starych (4,7 bilionów lat). Są one starsze od najstarszych znanych nam skał ziemskich (3,6 bilionów lat); reprezentują więc materię kosmiczną o bardzo wczesnym stadium rozwojowym.

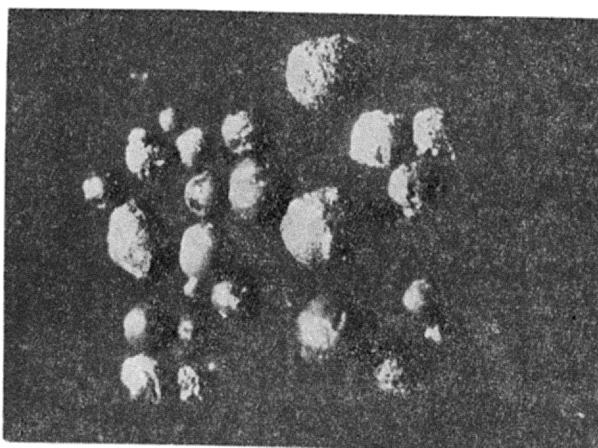
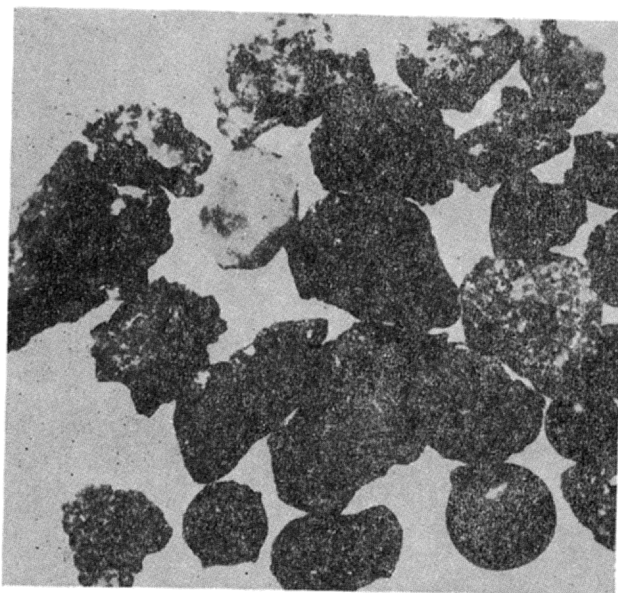
MINERAŁY TEKTYTÓW I PYŁÓW KOSMICZNYCH

Tektyty są to ciała szkliste, zwykle kuliste lub wydłużone, makroskopowo podobne do obsydianu. Szkliva są niejednorodne i mają często teksturę fluidalną. W niektórych tektytach stwierdzono wrostki małych metalicznych kulek o składzie 95% Fe i 1,2 — 3,2% Ni. Przypuszcza się, że ciała te podlegały gwałtownemu ogrzewaniu (do $\sim 2000^\circ C$) i równie szybkoemu chłodzeniu.

Pyły kosmiczne występujące m. in. we współczesnych osadach głębokomorskich, skałach osadowych oraz w lodach Grenlandii, były przedmiotem opracowań mineralogicznych. Są to małe ciała kuliste, zbudowane ze szkliva lub fazy metalicznej, które w odróżnieniu od większych znacznie tektytów są < 1 mm. W ostatnich latach w Polsce T. Wieser opisał pyły kosmiczne w tufogenicznych skałach wieku jura-neogen (12); L. Mazur pyły zbudowane z niklu stwierdzone w soli wielickiej (8) i A. Manecki, A. Skowroński (6) pyły z ilastych skał karbońskich Górnego Śląska (ryc. 3). Badaniami spektrofotometrycznymi w podczerwieni, wykonanymi w Katedrze Mineralogii i Petrografii AGH wykazano, że szkliva pyłów kosmicznych są bezwodne, w odróżnieniu od szkliw naturalnych pochodzenia ziemskiego (7), co może m. in. świadczyć o tworzeniu się ich w warunkach bliskich próżni.

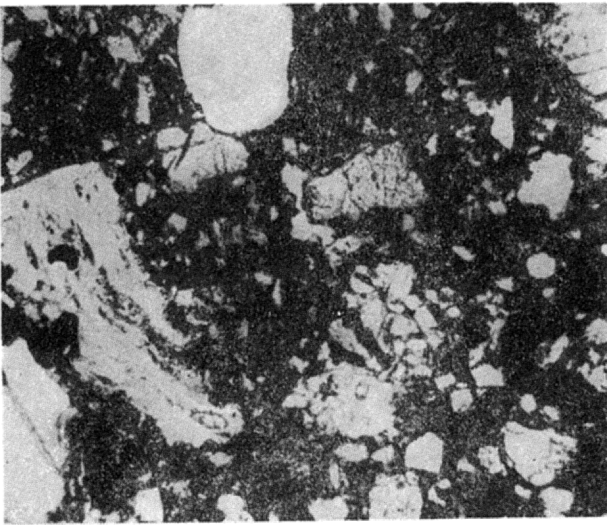
MINERAŁY I SKAŁY KSIĘŻYCZA

Próbki skał księżycowych przywiezione przez wyprawę Apollo-11, w ilości 22 kg, zostały zebrane w rejonie SW Mare Tranquillitatis. Materiał ten okazał się znacznie bardziej różnorodny niż przewidy-

Ryc. 3. Pyły kosmiczne z karbońskich skał ilastych (Górny Śląsk). Pow. 30 \times (wg A. Maneckiego i A. Skowrońskiego, 1970).Fig. 3. Cosmic dusts from Carboniferous clay rocks (Upper Silesia). Enl. $\times 30$ (according to A. Manecki and A. Skowroński, 1970)Ryc. 4. Skały księżycowe: okruchy brekcji i bazaltów (czarne), anortozytów (jasne) i kulki szkliva. Pow. 10 \times (Wg J. A. Wood et al).Fig. 4. Moon's rocks: fragments of breccia, basalts (black), anorthosites (light) and glass pellets. Enl. $\times 10$ (according to J. A. Wood et al).

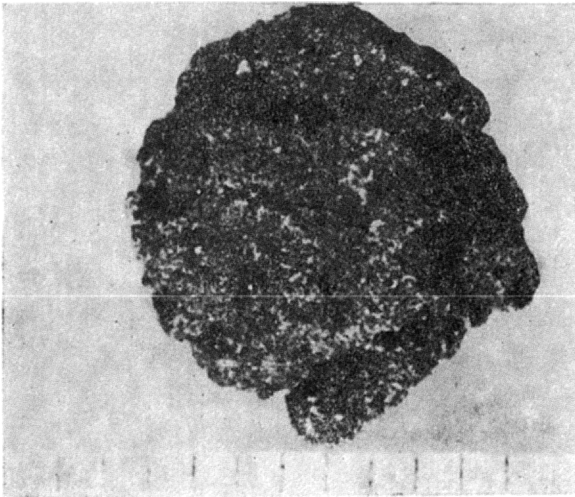
wano. Pierwsze naukowe opracowania wykonane przez grupę LSPET (5), a zwłaszcza bardziej szczegółowe i wnikliwie J. Wood et al. (13), zawierają charakterystykę składu mineralnego skał księżycowych.

Mare Tranquillitatis jest częścią zespołu wielkich równin księżycowych i ma kształt nieregularny w odróżnieniu od wielu mórz kolistych. W miejscu lądowania stwierdzono nierówności od małych dołków o średnicy kilku centymetrów do kraterów o 180 m średnicy i 30 m głębokości. W odsłonięciach kraterów nie stwierdzono warstwowania skał. W wyniku wykonanych badań laboratoryjnych stwierdzono cztery zasadnicze odmiany skał: brekcje, bazalty, anortozyty i szkliva (tab. IV, ryc. 4). Aczkolwiek skały księżycowe ze wspomnianego obrazu mogą zawierać w przewodzie materiał mórz, przypuszcza się, że jest tam zawarty także materiał z gór księżycowych.



Ryc. 5. Obraz mikroskopowy brekcji księżycowej. W tle skalnym tkwią okruchy skataklazowanych minerałów i szkliwa o fluidalnej teksturze. Pow. 150× (Wg J. A. Wood et al.).

Fig. 5. Microscope image of Moon's breccia. Rock body shows fragments of cataclasited minerals and glass of fluidal structure. Enl. ×150 (according to J. A. Wood et al.).

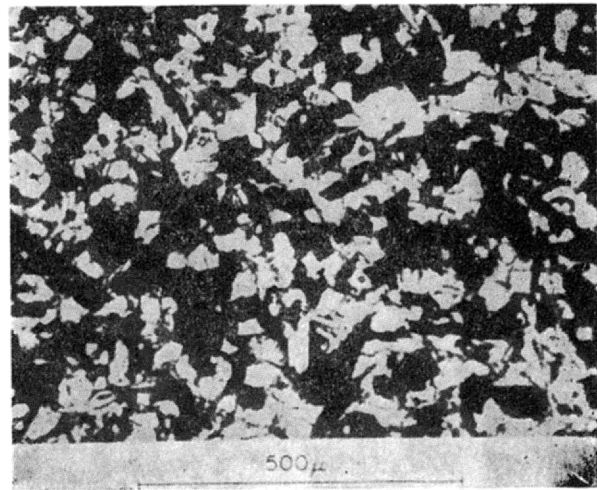


Ryc. 6. Okruch średnioziarnistego bazaltu księżycowego. Pow. 6× (Wg J. A. Wood et al.).

Fig. 6. Fragment of medium-grained lunar basalt. Enl. ×6 (according to J. A. Wood et al.).

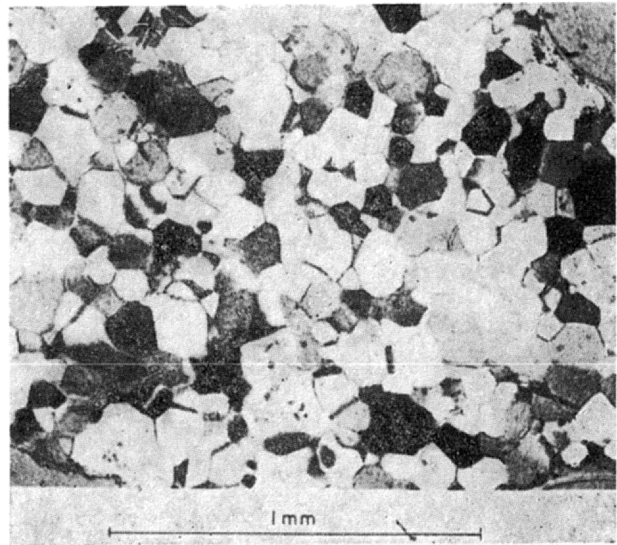
Brekcje. Są to agregaty ostrokrawędzistych okruchów skał, minerałów i szkliwa o wielkości 40—300 μ, które tkwią w drobnoziarnistej często zeszkłonej masie tego samego materiału co większe okruchy. Pospolicie w brekcjach występują małe kulki zbudowane ze szkliwa. W kilku brekcjach stwierdzono okruchy starszych brekcji, które zostały wtórnie scementowane. W skałach tych ziarna minerałów są często spękane i zdeformowane, a okruchy skał w różnym stopniu zeszkłone (ryc. 5). Te i wiele innych faktów przemawiają za tym, że brekcje księżycowe utworzyły się w wyniku zderzeń meteorytów z powierzchnią gruntu księżycowego.

Okolo 90% badanego materiału stanowi luźny i drobny materiał, którego głównymi składnikami są: szkliwo i okruchy minerałów (tab. V). Skład mineralny tego pyłu księżycowego podobny jest do składu mineralnego tła skalnego brekcji. Są to pirokseny jednoskośne, plagioklasy ($An_{75}-An_{98}$), oliwiny ($Fa_{32}-$



Ryc. 7. Obraz mikroskopowy średnioziarnistego bazaltu księżycowego; pirokseny i plagioklasy (jasne) i ilmenit (czarny). Nikole X. (Wg J. A. Wood et al.).

Fig. 7. Microscope image of medium-grained lunar basalt: pyroxenes and plagioclases (light) and ilmenite (black). Crossed nicols (according to J. A. Wood et al.).



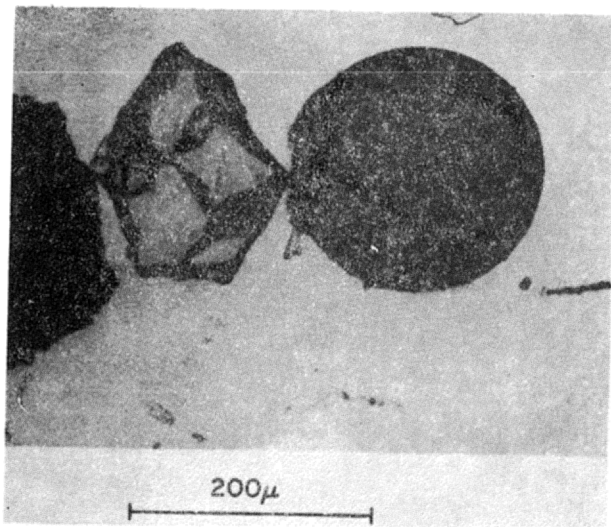
Ryc. 8. Obraz mikroskopowy anortozytu. Nikole X (Wg J. A. Wood et al.).

Fig. 8. Microscope image of anorthosite. Crossed nicols (according to J. A. Wood et al.).

— Fa_{51}), ilmenit oraz podrzędnie: trydymit, krystalit, kwarc, troilit i faza (Fe, Ni) (tab. VI). Kilku bardzo drobnych ziarn nie udało się zidentyfikować. Szkliwo wykształcone jest w postaci ostrokrawędzistych okruchów i obficie w postaci kulek o różnym zabarwieniu. Nie stwierdzono tufów.

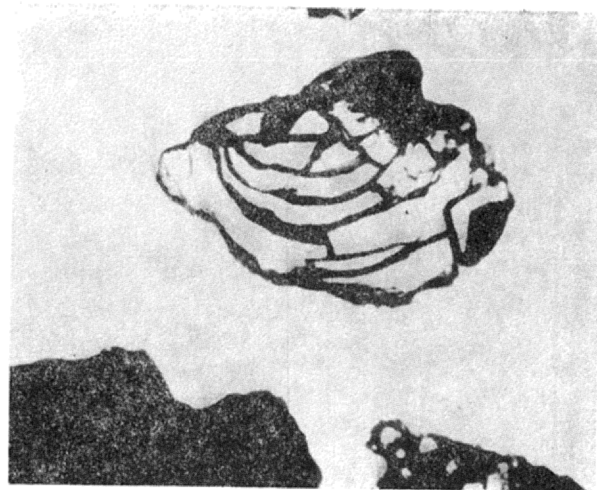
Przypuszcza się, że brekcje i drobny pył księżycowy utworzyły się w wyniku gwałtownych kolizji meteorytów z powierzchnią Księżyca. Fragmenty skał w brekcjach to bazalty, anortozyty i szkliwo. Niektóre okruchy skał są obtopione lub przepojone szkliwem. Są to osobliwe skały nie znajdujące odpowiedników na Ziemi.

Bazalty. Nazwę bazalt zastosowano tu w nieco szerszym pojęciu, bowiem obok gruboziarnistych odmian typu mikrogabra i gabra występują drobnoziarniste typu bazaltów (tab. I, ryc. 6). Mineralami głównymi tych skał są: jednoskośne pirokseny, Ca-plagioklasy i ilmenit. Mineralami pobocznymi są:



Ryc. 9. Ostrokrawędziste i kuliste ziarna jednorodnego szkliwa księżycowego (Wg J. A. Wood et al.).

Fig. 9. Sharp-edged and spherical grains of homogeneous lunar glass (according to J. A. Wood et al.).



Ryc. 10. Spękania i wygięcia piroksenu księżycowego będące wynikiem metamorfizmu zderzeniowego. Pow. 120 ×. (Wg J. A. Wood et al.).

Fig. 10. Fractures and bendings of lunar pyroxene due to collision metamorphism. Enl. × 120 (according to J. A. Wood et al.).

oliwin, troilit, Fe rodzime, kwarc, trydymit, pseudobrookit, rutyl, spinel chromowy. Odmiany gruboziarniste skał mają jaśniejsze barwy od odmian średnio- i drobnoziarnistych, co spowodowane jest mniejszą zawartością ilmenitu w tych pierwszych. Ciężar właściwy tych skał waha się 3,27–3,42 g/cm³. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę minerałów występujących w bazaltach księżycowych.

Pirokseny są reprezentowane przez augit tytanowy i pigeonit. Zaobserwowano w nich wyraźną strefowość w rozmieszczeniu Ti i Al.

Plagioklasy to bytownit i anortyt, prawie zawsze polisyntetycznie zbliżone. W plagioklazach o budowie zonalnej zróżnicowanie chemiczne pomiędzy pasami jest niewielkie. Pasm inwersyjnych nie stwierdzono.

Ilmenit. Cechą różniącą wyraźne bazalty księżycowe od ziemskich jest obfitość ilmenitu. Jego obecność w tych skałach powoduje, że morza księżycowe są czarne. Sądząc z pokroju ziarn, minerał ten krystalizował jako jeden z pierwszych. Zaobserwowano także resorbcję wielu ziarn ilmenitu.

Oliwin. Ziarna oliwinu są zwykle większe od ziarn minerałów z którymi współwystępuje. Jego osobniki są często skorodowane magmowo.

Pseudobrookit występuje sporadycznie. Najczęściej tworzy otoczki reakcyjne wokół ilmenitu. Zawartość Ti w pseudobrookitach pochodzenia ziemskiego jest znacznie mniejsza niż w pseudobrookitach księżycowych.

Troilit i żelazo rodzime są minerałami akcesorycznymi. Zwykle współwystępują ze sobą. Mała zawartość Ni w tych minerałach wyklucza ich meteorytowe pochodzenie.

Inne sporadycznie występujące minerały to kwarc, trydymit, krystobalit, rutyl i chromit. Za pomocą mikrosondy elektronicznej stwierdzono w bazaltach mikroobszary wzbogacone w potas. Jest to szklivo lub nowy nieznany minerał. W bazaltach księżycowych nie stwierdzono minerałów zawierających grupy OH i uwodnionych, ani też nie zaobserwowano ciekłych inkluzji, co dowodzi, że na powierzchni brak jest wody. Bazalty te są najprawdopodobniej fragmentami lawy, która wypełniła Mare Traquillitatis wkrótce po uformowaniu się Księżyca.

Anortozyty stanowią nikłą część próbek skalnych Księżyca (tab. IV). Są to skały leukokratyczne szeregu anortozyt — gabro anortozytowe. Makroskopowo wyraźnie odróżniają się od bazaltów. Są to bowiem skały barwy jasnoszarej w odróżnieniu od

prawie czarnych bazaltów. Właściwe anortozyty zbudowane są głównie z niezbliniaczonego anortytu (An₉₀₋₉₈). W gabrach anortozytowych, w tle skalnym występują jednoskośne i rombówce pirokseny i oliwin. Sporadycznie występują: troilit, chromit tytanowy, ilmenit i kamacyt. Gęstość tych skał nie przekracza 2,9 g/cm³. Występowanie anortozytów było zaskoczeniem, gdyż nie przewidywano ich obecności na Księżycu. Odbiegają one wyraźnie składem chemicznym od bazaltów a zwłaszcza zawartością Fe i Ti. Skład chemiczny anortozytów jest podobny do składu chemicznego skał obrzeżenia krateru Tych, na którym wyładował Surveyor VII i przesłał analizę tamtejszych skał na Ziemię.

Krater Tycho położony jest w rejonie Gór Księżycowych, które odróżniają się jaśniejszym zabarwieniem od mórz. Przypuszcza się, że okruchy anortozytów zebrane w strefie Mare Tranquillitatis pochodzą z gór księżycowych i zostały przerzucone w rejon lądowania w okresie tworzenia się kraterów w górach. Koncepcja, że góry księżycowe są zbudowane z anortozytów jest nowa i dotychczas nie była brana pod uwagę. Zastanawiający jest także brak odmian przejściowych pomiędzy bazaltami i anortozytami.

Szklivo księżycowe są zróżnicowane pod względem form, cech optycznych, barwy i chemizmu. Są to ziarna ostrokrawędziste lub idealnie kuliste (ryc. 9), zwykle niejednorodne, o teksturze fluidalnej z licznymi wrostkami okruchów minerałów lub skał. W szkliwach tych stwierdzono także drobne wrostki kulek rodzimego żelaza i troilitu. Skład chemiczny szklivi jest zmienny. Szklivo barwne (czerwone, pomarańczowe, żółte) są zasobne w Fe, Mg i Ti, a szklivo bezbarwne są uboższe w te pierwiastki, a wzbogacone w Al i Ti. Szklivo utworzyły się w wyniku uderzeń meteorytów o powierzchnię Księżyca i stopienia różnych odmian skał i minerałów księżycowych.

Meteoryty. Zaskakująco mało jest w próbkach skalnych Księżyca materiału meteorytowego (tab. IV). Stwierdzono fragmenty meteorytów żelazistych, kamiennie-żelazistych i wątpliwe chondryty.

Lista minerałów Księżyca, które poznano do tej pory przedstawia się następująco (stan na 20.04.1970 r.):

Pierwiastki rodzime: Fe rodzime (Fe, Ni), Cu rodzime, grafit.

Siarczki: troilit, chalkopiryt.

Minerale: ilmenit, rutyl, nowy minerał ferropseudobrookit, dysanalit, chromit, magnetyt, hematyt, ulvöspinel, spinel, Cr-Ti-spinel, pikotyty, baddelyit.

Fosforany: apatyt.

Krzemiany: pirokseny (Ti-augit, pigeonit, hipersten), oliwiny, skalenie (Ca-plagioklasy, K-skaleń), kwarc, trydymit, krystobalit, cyrkon, nowy minerał Fe-piroksmangit, nowy krzemian Ti, Fe, Zr z domieszką Ca i Y, krzemiany warstwowe (?).

Katakklaza i izotropizacja minerałów. Wobec braku atmosfery obce są na powierzchni Księżyca zjawiska erozji i wietrzenia chemicznego. Ważny jest natomiast metamorfizm spowodowany bombardowaniem skał księżycowych przez meteoryty, tzw. metamorfizm uderzeniowy (shock metamorphism). Metamorfizm ten stwierdzono w około 75% badanych okruchów. Wyróżniono trzy jego odmiany: 1) kataklaza i mikrodeformacja; 2) izotropizacja minerałów; 3) topienie. Stwierdzono liczne spękania, a nawet wygięcia kryształów (ryc. 10). Izotropizacją objęte zostały w znacznym stopniu okruchy plagioklazów, a brekacje i szkliwo to także wynik tego metamorfizmu.

Na podstawie wykonanych badań i dotychczasowych obserwacji zaproponowano następujący model budowy Księżyca (13). Zewnętrzna 25 km grubości skorupa księżycowa zbudowana jest z lżejszych skał anortozytowych, które podścielone są przez cięższe bazalty. Skorupa ta została perforowana przez padające na powierzchnię Księżyca duże meteoryty, utworzone kratery były wypełniane przez lawę bazaltową. Dyferencjacja magmy przebiegała tylko w zewnętrznej stopionej strefie Księżyca. Wnętrze i jądro Księżyca są zbudowane prawdopodobnie z nieprzetopionych skał zbliżonych gęstością do bazaltów.

SUMMARY

The paper presents the development of mineralogical research on bodies of extraterrestrial origin, conducted in a period from 1749 to 1969. Minerals of meteorites and those of lunar rocks are presented in tables. It is also demonstrated that at present the development of cosmic space research highly affected an increasing interest in cosmomineralogy.

LITERATURA

1. Farrington O. C. — Meteorites. Chicago, 1915.
2. Heide S. — Meteorites. Chicago, 1964 (tłum. ang.).
3. Krinow E. L. — Mietieority. Moskwa, 1948.
4. Kwasha L. G. — Issledowanije kamiennogo mietieorita Staroje Boryskino. Mietieoritika. Sb. Stat., wyp. IV, 1948.
5. LSPET — Preliminary examination of lunar samples from Apollo 11. Science, vol. 165, 1969.
6. Manecki A., Skowroński A. — Materiał gruboziarnisty i pyły kosmiczne z ilów montmorillonitowych karbonu górnośląskiego. Pr. miner. (w druku).
7. Manecki A., Skowroński A. — Extraterrestrial spherules from carboniferous montmorillonite clays (Upper Silesia). Bull. Acad. Pol. Sci. (w druku).
8. Mazur L. — Rodzimy nikiel z kopalni soli w Wieliczce. Prz. geol., 1969, nr 3.
9. Pokrzywnicki J. — Meteoryty Polski (I); Katalog meteorytów w zbiorach polskich (II). Studia Geol. Pol. vol. XV, 1964.
10. Prior G. T. — The classification of meteorites. Mineral. Mag. 19, 1920.
11. Ramdohr P. — The opaque minerals in stony meteorites. J. Geoph., Res., 68, 1963.
12. Wieser T. — Cosmic dust and their stratigraphic significans. Bull. Acad. Pol. Sci. vol. XI, 1963.
13. Wood J. A., Marvin U. B., Powell B. N., Dickey J. S. — Mineralogy and petrology of the Apollo 11 lunar sample. Smiths. Astroph. Obs., rep. 307, 1970.

РЕЗЮМЕ

В статье представлен очерк минералогических исследований тел космического происхождения на протяжении 1749—1969 г.г. В таблицах помещены названия минералов из метеоритов и лунных пород. Отмечается, что в последнее время с развитием исследований космического пространства резко возросла заинтересованность космоминералогией.