

Krystyna NAWARA

## Pierwsze wyniki badań skał księżycowych\*

W dniach 16—24. VII. 1969 r. odbyła się pierwsza w historii ludzkości wyprawa statku załogowego na Księżyc — misja Apollo 11. Głównym jej celem było lądowanie na powierzchni naszego naturalnego satelity, zebranie próbek skał księżycowych oraz rozstawienie instrumentów do badań geofizycznych. W wyprawie uczestniczyło trzech astronautów amerykańskich: E. Aldrin, N. Armstrong i M. Collins. Podobnie jak wszyscy astronauty programu Apollo musieli oni ukończyć kurs geologii w wymiarze ok. 3 lat studiów uniwersyteckich. Kurs ten prócz teorii obejmował ćwiczenia praktyczne, odbywające się między innymi na obszarach wulkanicznych Islandii, Alaski i Hawajów. Spodziewano się bowiem, że skały, z którymi astronauty zetkną się na Księżycu, należą właśnie do tej grupy skał magmowych.

W czasie swego pobytu (trwającego ok. 2,5 godziny) poza statkiem astronauty zebrali z powierzchni Księżyca ok. 21,5 kg próbek skalnych. Przywiezione przez załogę Apollo 11 próbki z Księżyca stanowią pierwszy, prócz oczywiście materii meteorytycznej, materiał skalny z innej planety, który znalazł się na Ziemi \*\*

### TEREN BADAŃ NA KSIĘŻYCU

Dwaj astronauty Apollo 11 — E. Aldrin i N. Armstrong — wylądowali na powierzchni księżycowego Morza Spokoju, rozciągającego się we wschodniej części tarczy księżycowej (oglądanej z Ziemi), nieco na północ od równika (tabl. I). Wśród potoków zastygłej lawy występują tam liczne kratery wulkaniczne, niektóre z nich zalane częściowo przez lawę.

W czasie swego pobytu na powierzchni Księżyca astronauty przeprowadzili szereg obserwacji geologicznych terenu, z których wynika, że powierzchnia Morza Spokoju pokryta jest grubą warstwą zwietrzliny, a jej

\* Materiały Konferencji w Houston, styczeń 1970 r., opublikowane w czasopiśmie Science, vol. 167, nr 3918, Waszyngton.

\*\* W czasie, kiedy niniejszy artykuł był w druku, odbyła lot księżycowy radziecka stacja kosmiczna „Luna — 16”, która pobrała próbki gruntu księżycowego bez udziału człowieka. Wyniki badań pobranych próbek wniosą niewątpliwie dużo nowego do poznania chemizmu i mineralogii skał księżycowych. Gdy wyniki tych prac badawczych będą udostępnione w literaturze, „Kwartalnik Geologiczny” będzie się starał również o zaprezentowanie ich polskim geologom. (Red.).

grubość waha się od 3 do 6 metrów. Warstwa ta przykrywa zarówno płaszczyznę, jak i dna kraterów tak, że kratery księżycowe wydają się pozornie płaskie (tabl. II).

Wszystkie próbki skalne zebrane przez astronautów pochodzą z wierzchniej warstwy zwietrzliny. Składa się ona z fragmentów skalnych o różnych rozmiarach — od drobnutkich pyłów niedostrzegalnych gołym okiem do bloków o średnicy powyżej 1 m. Niektóre partie zwietrzliny scementowane są szkliwem, wskutek czego tworzą pewnego rodzaju brekcję. Astronauci zbierali z powierzchni księżycowej zarówno drobne odłamki skalne, leżące luźno, jak i próbki brekcji oraz pyłu. Posługiwali się przy tym specjalnymi instrumentami, mającymi kształt małych czerpaków. Instrumenty te ułatwiały podnoszenie z powierzchni małych próbek skalnych bez schylania się. Próbki skał wkładali astronauta do małych woreczków foliowych, a następnie do zasobników. Przy okazji pobrano również kilka próbek z rdzeni bardzo płytkich wierceń (tabl. III).

Ze względu na konieczność zachowania daleko idącej ostrożności w kompletnie nieznanym terenie astronauta pracowali tylko w pobliżu statku, w odległości nie większej niż 60 m. Przy okazji stwierdzono, że powierzchnia księżycowa jest dość zwarta i stopy astronautów nie grzęzły zbyt głęboko w pyle (tabl. IV).

Należy tu podkreślić, że astronauta nie mieli nigdzie dostępu do skał znajdujących się *in situ* i jedynym źródłem próbek była zwietrzlina. Poza tym obszar, z którego pobierali próbki skalne, był dość ograniczony, dlatego też z tych pierwszych badań nie można wyciągać jeszcze zbyt daleko idących wniosków dotyczących budowy i historii Księżyca.

## BADANIA LABORATORYJNE SKAŁ KSIĘŻYCOWYCH

Po wylądowaniu na Ziemi próbki skalne zostały umieszczone w specjalnych pomieszczeniach kwarantannowych w Księżycowym Laboratorium Odbiorczym w Houston (Teksas). Kilkutygodniowa izolacja od środowiska ziemskiego miała na celu zarówno ochronę ludzi, mogących zachodzić się nieznanymi nam bakteriami, gdyby one istniały w skałach księżycowych, jak i ochronę próbek księżycowych przed zakażeniem ich przez środowisko ziemskie. Już w czasie kwarantanny trwały prace laboratoryjne nad tym problemem. Następnie próbki skał księżycowych zostały rozdzielone między naukowców 10 krajów: USA, Wielkiej Brytanii, Niemieckiej Republiki Federalnej, Kanady, Japonii, Australii, Szwajcarii, Belgii, Francji oraz Finlandii. Nad analizą skał księżycowych pracowało ok. 600 osób z różnych ośrodków naukowych wyżej wymienionych krajów.

Badania skał księżycowych obejmowały następujące zagadnienia: 1 — wiek skał księżycowych, 2 — pierwiastki śladowe w skałach księżycowych, 3 — skład chemiczny skał, 4 — obecność izotopów, gazów szlachetnych itp. w skałach księżycowych, 5 — mineralogię ogólną skał, 6 — mineralogię szczegółową, obejmującą m. in. analizę minerałów ciężkich, krystalografię itp., 7 — petrografię, 8 — analizy spektralne metodą Mössbauera, 9 — właściwości magnetyczne i elektryczne skał, 10 — różne inne własności skał i minerałów, jak np. luminescencja, przewodnictwo cieplne, ściśliwość, 11 — badania mające na celu wykrycie ewentualnych związków organicznych w skałach księżycowych.

Wyniki olbrzymiej ilości analiz przedstawiono na naukowej konferencji poświęconej skałom księżycowym, która odbyła się w dniach 5—8 I 1970 r. w Houston. Wygłoszono wówczas ponad 140 referatów poświęconych wyżej wymienionym zagadnieniom. Wyników analiz skał księżycowych nie można przedstawić w całości w niniejszym artykule; dlatego też wybrałam z nich tylko niektóre problemy, głównie dotyczące mineralogii i petrografii skał księżycowych.

Skały przywiezione przez załogę Apollo 11 podzielono na 4 typy: 1. typ A — drobnoziarniste skały krystaliczne o teksturze pęcherzykowej — ferrobazalty; 2. typ B — średnioziarniste skały krystaliczne o teksturze porowatej — mikrogabra; 3. typ C — brekcja; 4 — typ D — pył albo gleba księżycowa.

W laboratorium każda z próbek została sfotografowana oraz oznaczona numerem; dla skał Apollo 11 numeracja zaczyna się od 10 000 wzwyż. Jeżeli jakaś próbka została podzielona na mniejsze kawałki przeznaczone do analiz, każdy z nich zachował numer całej próbki, a ponadto otrzymywał nowy numer w ramach danej próbki. Podana w tabelach numeracja próbek księżycowych opiera się na tej zasadzie.

### WIEK SKAŁ KSIĘŻYCOWYCH

Wiek poszczególnych skał księżycowych ustalano kilkoma metodami w oparciu o izotopy pierwiastków promieniotwórczych. Okazało się, że koncentracja pierwiastków promieniotwórczych w skałach przywiezionych przez Apollo 11 jest bardzo niska. Wyniki analizy zawartości poszczególnych pierwiastków przedstawiono w ilości cząstek na milion (ppm). Dla uranu zawartość ta wynosi 0,16—0,87, dla toru — 0,53—3,4, dla ołowiu — 0,29—1,7. Obliczenia wieku bezwzględnego poszczególnych skał ustalono w oparciu o stosunki następujących izotopów:  $Pb^{207}/Pb^{206}$ ,  $Pb^{206}/U^{238}$ ,  $Pb^{207}/U^{238}$ ,  $Pb^{207}/U^{235}$  oraz  $Pb^{208}/Th^{232}$ . Z obliczeń tych wynika, że najstarszymi skałami są pył i brekcja. Wiek ich wyliczono średnio na 4,6 miliarda lat. Wartość ta bliska jest wartości wieku meteorytów oraz najstarszych skał na Ziemi. Podobny wiek wykazują anortozyty, znajdujące w postaci drobnych odłamków w brekcji księżycowej i w pyłe, oraz gabra księżycowe. Bazalty natomiast okazały się najmłodszymi skałami, gdyż wiek ich średnio wynosi 3,65 miliarda lat (tab. 1).

Na podstawie tych analiz wnioskować można również o wieku Morza Spokoju, gdyż jest ono po prostu wielką płaszczyną zalaną lawą bazaltową. Jest ono zatem młodsze od otaczających je wyżyn o blisko 1 miliard lat. Wyżyny otaczające Morze Spokoju zbudowane są prawdopodobnie z anortozytów. Wskazuje na to nie tylko albedo tych obszarów, ale i odłamki skał znalezione na Morzu Spokoju. Przypuszczalnie anortozyty dostały się tu w wyniku wybuchu wulkanicznego na wyżynie, który rozrzucił odłamki w promieniu ok. 50 km.

### SKŁAD CHEMICZNY SKAŁ KSIĘŻYCOWYCH

Analizy składu chemicznego skał księżycowych przeprowadzono głównie dwiema metodami: 1) NAA (*neutron activation analysis*) — analiza metodą aktywacji neutronami, oraz 2) MS (*mass spectrograph*) — analiza

Tabela 1

Wiek niektórych skał księżycowych  
(L.T. Silver, 1970)

Nr próbki	Typ skały	Stosunek izotopów				Wiek skał w milionach lat			
		Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>	Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>	Pb <sup>208</sup> /Th <sup>232</sup>	Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>206</sup> /U <sup>238</sup>	Pb <sup>207</sup> /U <sup>235</sup>	Pb <sup>208</sup> /Th <sup>232</sup>
10.017,34	bazalt	0,445 <sub>9</sub>	0,95 <sub>9</sub>	59,1	0,26 <sub>3</sub>	4.130	4.375	4.210	4.790
		0,446	0,93	57,3	0,25 <sub>6</sub>	4.130	4.275	4.180	4.670
10.045,30	bazalt	0,457				4.170			
		0,458 <sub>2</sub>				4.170			
10.072,39	bazalt	0,446 <sub>4</sub>	0,81 <sub>2</sub>	49,9	0,21 <sub>1</sub>	4.130	3.865	4.045	3.925
		0,446 <sub>4</sub>	0,80	49,3	0,20 <sub>8</sub>	4.130	3.825	4.030	3.880
10.047,34	gabro	0,470	1,05 <sub>4</sub>	68,3	0,27 <sub>1</sub>	4.210	4.680	4.360	4.950
		0,473	0,93 <sub>6</sub>	61,1	0,24	4.220	4.300	4.245	4.410
10.060,15	brekcja	0,609 <sub>5</sub>	1,05 <sub>1</sub>	88,3	0,32 <sub>5</sub>	4,595	4,675	4,620	5,760
		0,610 <sub>8</sub>	0,92 <sub>8</sub>	78,1	0,17 <sub>8</sub>	4,600	4,270	4,495	3,365
10.084,35	pył	0,623 <sub>2</sub>	1,05 <sub>2</sub>	90,4	0,34 <sub>8</sub>	4,630	4,675	4,645	4,535
		0,627 <sub>6</sub>	0,99 <sub>6</sub>	85,8	0,23 <sub>4</sub>	4,635	4,500	4,600	4,310



przy pomocy spektrografu mas. Metodami tymi określono zawartość 66 pierwiastków w skałach księżycowych (tab. 2). Do analizy pobierano 1 gram każdej próbki, następnie 200 miligramów przeznaczano do analizy NAA, a 500 miligramów do analizy MS.

Skład chemiczny skał księżycowych różni się znacznie od wszelkich znanych nam dotychczas skał. Wprawdzie bazalty księżycowe wykazują pewne podobieństwo do bazaltów znanych nam z achondrytów i Ziemi, ale skał tych nie można ze sobą porównywać. Na przykład takie pierwiastki, jak potas, rubid, cez, chlor i tal występują w skałach księżycowych w ilościach minimalnych w porównaniu ze skałami ziemskimi, wykazują natomiast niezwykle dużą koncentrację tytanu, skandiu, cyrkonu, hafnu, itru itp. (tab. 2). W skałach księżycowych można stwierdzić również niedobór pierwiastków lotnych, jak Sb, As, Br, Cu, Zn i Hg. Jedną z cech skał księżycowych jest również niska zawartość europu w stosunku do innych pierwiastków ziem rzadkich na Ziemi.

Stwierdzono także różnice w zawartości poszczególnych pierwiastków w różnych próbkach, szczególnie odnosi się to do następujących pierwiastków: P, K, Cl, F, In, Zn, Cu. Różnice te nie mogą wynikać z niedokładności analizy, ale odzwierciedlają rzeczywiste różnice w składzie chemicznym skał.

W glebie oraz brekcji występują te same pierwiastki co w skałach krystalicznych. Prócz nich znajdują się jednak i inne, np. nikiel, kadm, cynk, srebro, złoto, miedź i tal. Pierwiastki te są charakterystyczne dla meteorytów zwanych achondrytami. Dlatego też wzbogacenie skał księżycowych w te pierwiastki wskazuje wyraźnie na domieszkę materii meteorytycznej.

Należy podkreślić, że wszelkie badania chemiczne mające na celu wykrycie śladów życia organicznego w skałach księżycowych dały wynik negatywny. Stwierdzono, że nie istnieje tu życie organiczne i prawdopodobnie nie istniało. W brekcji księżycowej znaleziono jednak pierwiastki wchodzące w skład materii organicznej, jak węgiel, azot, fosfor i siarka.

Porównując przeciętny skład chemiczny skał księżycowych ze składem chemicznym Słońca, meteorytów i skał ziemskich zauważyć można — z jednej strony — że skały księżycowe w porównaniu z ziemskimi wykazują niedobór takich pierwiastków, jak potas czy sód (w skałach ziemskich występują w większych ilościach), z drugiej strony zaś — zawierają ich więcej niż Słońce. Pierwiastki ziem rzadkich w skałach księżycowych występują w ilościach zbliżonych do ich ilości na Słońcu, w nieco większych ilościach niż w achondrytach, oraz w znacznie większych ilościach niż w skałach ziemskich.

## PETROGRAFIA I MINERALOGIA SKAŁ KSIĘŻYCOWYCH

Skały krystaliczne. Wśród fragmentów skalnych wyróżniono następujące: bazalty, gabra oraz anortozyty. Analizy składu chemicznego tych skał wykazały, że zarówno gabra, jak i bazalty księżycowe mają odmienny skład od podobnych im skał ziemskich. Cechą charakterystyczną krystalicznych skał księżycowych jest brak żelaza trójwartościowego oraz wody. Wszystkie minerały krzemianowe wykazują niezwykle przezroczystość oraz kompletny brak zmian hydrotermalnych (tab. 3).

Zawartość poszczególnych pierwiastków w skałach księżycowych  
 (G.H. Morrison, J.T. Gerard, A.T. Kasbuba, E.V. Gangadharam, A.M. Rothenberg, N.M. Potter, G.B. Miller, 1970)

Pierwiastki	Metoda	Typ A — bazalt			Typ B — gabro		Typ C — brekcja		Typ D — pył
		20—26	57—32	72—24	58—26	46—23	56—20	60—13	84—55
Pierwiastki główne (% wagowe)									
Si	AA	19,4	21,5	19,2	18,4	20,6	19,8	18,7	20,2
Al	NAA	5,9	4,0	4,0	5,4	6,2	5,7	6,0	7,3
Ti	NAA	6,1	6,5	6,7	5,8	5,0	5,5	5,1	4,1
Fe	NAA	14,7	15,7	15,4	15,2	13,2	14,8	13,8	12,5
Mg	NAA	5,0	3,7	4,3	3,4	5,5	2,8	4,6	4,6
Ca	NAA	10,3	10,1	10,3	11,0	9,8	11,0	10,4	9,6
Na	NAA	0,28	0,35	0,32	0,32	0,35	0,32	0,34	0,33
K	NAA	0,052	0,22	0,29	0,033	0,17	0,094	0,16	0,11
Mn	NAA	0,20	0,17	0,17	0,19	0,16	0,20	0,16	0,16
Cr	NAA	0,22	0,21	0,24	0,15	0,21	0,14	0,22	0,20
Zr	NAA	0,036	0,056	0,072	0,038	0,062	0,041	0,058	0,030
Ni	NAA	0,006	0,004	0,003	0,008	0,007	0,005	0,007	0,017
V	NAA—MS	0,0059	0,0040	0,0062	0,0041	0,0068	0,0056	0,0062	0,0078
P	MS	0,070	0,041	0,070	0,024	0,10	0,033	0,060	0,14
Pierwiastki śladowe (cząstki na milion)									
Li	MS	5	8	14	6	16	16	7	6
Be	MS	2	2,5	4	1,5	6	3	3	4
B	MS	1	4	4	2	9	2	3	2
N	MS	10	20	30	10	70	20	6	30
F	MS	85	70	100	50	220	30	80	66
Cl	MS	150	50	60	50	520	16	150	350
Sc	NAA	85	84	86	87	64	97	70	60
Co	NAA—MS	20	24	28	14	42	15	32	40
Cu	NAA	3,7	5,5	18	7,1	9,7	3,8	11	9,9
Zn	NAA	2,1	2,9	7,0	9,3	30	2,7	25	22
Ga	NAA	3,5	4,7	4,3	4,3	4,9	4,3	5,1	4,6
Ge	MS	—	1,3	1,1	1,2	—	1,2	1,4	0,7
As	NAA	0,03	0,04	0,05	0,07	0,05	0,03	0,09	0,07
Se	MS	0,4	—	—	—	0,4	—	0,9	0,2
Br	NAA	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,06	0,3	0,2
Rb	NAA—MS	2,8	4,8	5,7	1,2	3,6	2,0	4,0	4,4
Sr	NAA—MS	170	130	140	180	170	160	180	200
Y	MS	130	210	250	150	190	180	210	150
Nb	MS	36	42	45	47	38	37	45	33
Mo	NAA—MS	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7	0,4	0,7	0,7
Pd	MS	0,09	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	—	0,04
Ag	MS	0,1	0,04	0,6	0,07	0,02	0,2	0,01	0,1
Cd	MS	—	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9	0,3	0,3
In	MS	—	0,07	2,0	0,6	0,08	0,06	—	0,5
Sn	MS	—	0,6	0,4	1,2	—	0,3	—	0,7
Sb	NAA	0,01	0,005	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005
Cs	NAA—MS	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,06	0,2	0,2
Ba	NAA—MS	96	280	300	140	280	100	250	220
La	NAA—MS	11	31	35	16	23	13	24	22
Ce	NAA—MS	34	83	96	45	67	42	62	50
Pr	MS	8,7	22	20	13	20	12	13	9
Nd	NAA—MS	43	84	120	72	70	82	96	46
Sm	NAA—MS	14	24	28	22	20	23	24	18
Eu	NAA—MS	1,6	2,1	2,2	3,0	2,0	2,5	2,0	1,9
Gd	NAA—MS	17	26	31	22	20	24	28	20
Tb	NAA—MS	3,5	5,6	6,8	5,4	4,5	5,4	5,0	3,8
Dy	MS	30	42	45	39	30	40	41	25
Ho	NAA—MS	7	8	10	9	9	9	10	6
Er	MS	19	32	35	36	23	27	30	15
Tm	NAA—MS	1,2	2,3	2,8	2,0	1,6	2,1	1,8	1,2
Yb	NAA—MS	15	26	28	22	20	20	22	12
Lu	NAA—MS	1,5	2,2	2,6	2,3	1,8	1,8	2,0	1,4
Hf	NAA—MS	11	15	18	13	11	11	13	9
Ta	NAA	1,3	1,2	1,8	1,0	1,7	2,2	1,7	1,3
W	NAA	0,13	0,42	0,42	0,36	0,35	0,15	0,35	0,25
Tl	MS	—	—	—	—	—	—	—	0,2
Pb	MS	—	3	3	3	2	1,2	3	6
Th	NAA—MS	1,5	4,5	4,8	1,1	2,8	1,4	3,0	2,3
U	NAA	0,14	0,56	0,50	0,20	0,58	0,21	0,60	0,48

Tabela 3

Skład chemiczny krystalicznych skal kśiężycowych  
(H.J. Rose, F. Cuttitta, E.J. Dwornik, M.K. Carron, R.P. Christian, J.R. Lindsay, D.T. Ligon, R.R. Larson, 1970)

Tlenki	Numer skały i rodzaj								
	10.003 gabro fragment skały	10.022 bazalt fragment skały	10.024 gabro fragment skały	10.047 gabro sproszk.	10.049 gabro sproszk.	10.050 gabro fragment skały	10.058 gabro fragment skały	10.058 gabro sproszk.	10.062 gabro fragment skały
SiO <sub>2</sub>	37,8	40,1	39,0	41,3	41,0	40,9	41,4	41,7	38,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,0	8,60	9,50	9,80	9,60	8,90	10,7	11,8	12,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FeO	19,8	18,9	18,5	19,0	18,7	17,3	17,3	18,2	18,3
MgO	7,20	7,74	8,11	6,10	7,03	8,03	6,25	6,30	7,21
CaO	11,0	10,7	10,0	12,2	11,0	11,3	12,1	11,0	12,0
Na <sub>2</sub> O	0,85	0,91	0,80	0,65	0,71	0,66	0,79	0,68	0,69
K <sub>2</sub> O	0,05	0,30	0,28	0,11	0,36	0,05	0,07	0,09	0,07
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TiO <sub>2</sub>	12,0	12,2	13,2	10,2	11,3	12,6	11,1	9,55	10,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
MnO	0,29	0,25	0,24	0,29	0,25	0,27	0,27	0,27	0,27
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,26	0,37	0,40	0,22	0,32	0,35	0,21	0,24	0,25
ZrO <sub>2</sub>	<0,03	0,03	<0,03	<0,03	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
NiO	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Razem	100,25	100,10	100,03	99,87	100,20	100,36	100,19	99,83	99,99

Pierwsze wyniki badań skal kśiężycowych

Gabra księżycowe składają się z grubych kryształów augitu, bogatego w żelazo piroksomangitu, ilmenitu, plagioklazu, krystobalitu oraz resyduum fajalitu i hedenbergitu. Gabra te nie zawierają fenokryształów (tab. 4).

Tabela 4

Porównanie składu chemicznego gabra księżycowego ze składem bazaltów różnego pochodzenia (A.E.J. Engel, C.G. Engel, 1970)

Tlenki	Gabro (Apollo 11)	Bazalt z achondrytów	Bazalt — toleit	Bazalt oliwinowy
SiO <sub>2</sub>	42,01	48,51	50,01	48,01
TiO <sub>2</sub>	8,81	0,48	1,37	2,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,67	13,04	16,18	15,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	1,11?	2,32	3,87
FeO	17,98	15,90	7,07	7,56
MgO	6,25	7,87	7,71	5,26
CaO	12,18	11,0	11,33	9,04
Na <sub>2</sub> O	0,48	0,50	2,79	3,73
K <sub>2</sub> O	0,11	0,08	0,22	1,89
H <sub>2</sub> O	—	0,7	0,87	1,33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,19	0,13	0,42

Tabela 5

Skład chemiczny dwóch próbek anortozytowych z Księżyca w % wag. (J.A. Wood, J.S. Dickey, U.B. Marvin, B.N. Powell, 1970)

Tlenki	Gabro anortozytowe	Anortozyt
SiO	46,0	45,4
TiO <sub>2</sub>	0,3	śl.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,3	33,8
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	śl.
FeO	6,2	2,8
MnO	0,1	0,1
MgO	7,9	1,7
CaO	14,1	17,5
Na <sub>2</sub> O	0,3	0,4
K <sub>2</sub> O	śl.	śl.
NiO	śl.	—
SO <sub>3</sub>	0,1	—
Razem	102,5	101,7

W bazaltach księżycowych znaleziono następujące minerały: bladonóżowy albo beżowy augit tytanowy, plagioklaz-bytownit, oliwin, krystobalit. Pirokseny przeważają ilościowo nad plagioklazami. Wśród minerałów nieprzeźroczystych wyróżniono: ilmenit, troilit, ulvöspinel glinowy, tytanochromit.

Pęcherzykowata tekstura bazaltów wskazuje, że pierwotnie skały te zawierały składniki lotne, które uciekły w przestrzeń w czasie zastygania skały. Odgazowanie to mogło nastąpić tylko w wyniku zastygania bazaltów na powierzchni księżycowej albo blisko niej — w warunkach kompletnej próżni.

Odlamki bazaltowe wchodzące w skład brekcji zawierają więcej szkliwa niż same bazalty. Niektóre z tych odłamków składają się całkowicie ze szkliwa.

Tabela 6

Porównanie składu chemicznego anortozytu przywiezionego przez Apollo 11 i skały pobranej w pobliżu krateru Tycho przez Surveyora 7

(J.A. Wood, J.S. Dickey, U.B. Marvin, B.N. Powell, 1970)

Pierwiastki	Zawartość atomów w %	
	anortozyt (Apollo 11)	skała z krateru Tycho (Surveyor 7)
C	—	<2
O	60,9	58±5
Na	0,2	<3
Mg	4,1	4±3
Al	11,3	9±3
Si	16,2	18±4
P		
S	5,4	6±2
K		
Ca		
Ti		
Cr		
Mn	2,0	2±1
Fe		
Ni		

Anortozyty występują w postaci drobnych odłamków frakcji 1—5 mm w glebie i brekcji. Składają się one z silnie ze sobą zrośniętych anortytów ze śladami oliwinów i minerałów nieprzeźroczystych. Są one bardzo drobnoziarniste. Różnią się składem chemicznym od bazaltów, szczególnie zawartością tytanu (tab. 5). Dlatego uważa się, że jest rzeczą wątpliwą, aby istniał jakiś związek między skałami anortozytowymi a bazaltami. Podobne do anortozytów skały zanalizowano z pomocą Surveyora 7 na wyżynie, w pobliżu krateru Tycho. Fakt ten przemawia za tym, że wyżyny księżycowe składają się głównie z anortozytów (tab. 6).

Brekcję księżycową stanowi zestalony pył oraz odłamki skalne z powierzchni księżycowej. Jej skład jest taki jak gleby księżycowej (tab. 7), różni się jedynie scementowaniem składników przez szkliwo. W skład brekcji wchodzi 4 zasadnicze składniki: 1 — ostrokrawędziste

Tabela 7

**Skład chemiczny brekcji i pyłu księżycowego**  
(H.J. Rose, F. Cuttitta, E.J. Dwornik, M.K. Carron, R.P. Christian, J.R. Lindsay, D.T. Ligon, R.R. Larson, 1970)

Tlenki	Zawartość tlenków w % wagowych			
	10.019 brekcja	10.048 brekcja sproszkowana	10.060 brekcja sproszkowana	31.1079 pył
SiO <sub>2</sub>	41,1	42,2	41,5	42,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,7	12,9	11,8	14,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—
FeO	15,7	15,7	17,0	15,3
MgO	7,86	7,54	7,52	7,94
CaO	11,9	11,4	11,6	12,1
Na <sub>2</sub> O	0,93	0,52	0,78	0,54
K <sub>2</sub> O	0,14	0,17	0,18	0,14
TiO <sub>2</sub>	8,25	8,95	9,15	7,60
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
MnO	0,22	0,22	0,23	0,21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,32	0,31	0,33	0,31
ZrO <sub>2</sub>	0,03	<0,03	0,04	0,03
NiO <sub>2</sub>	0,02	0,02	0,02	0,02
Razem	100,15	99,91	100,13	100,47

Tabela 8

**Analiza składu chemicznego szkliva z dwóch różnych fragmentów brekcji księżycowej**  
(J.A. Douglas, M.R. Dence, A.G. Plant, R.J. Traill, 1970)

Tlenki	Próbka nr 10.065,21			Próbka nr 10.018,27		
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	38,3	42,9	43,9	38,1	40,9	41,4
TiO <sub>2</sub>	13,3	6,9	5,3	6,6	1,0	0,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,0	13,8	15,5	15,0	25,5	18,9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,15
FeO	20,0	13,4	12,5	15,9	6,8	6,4
MnO	0,25	0,15	0,15	0,2	0,1	0,1
MgO	8,9	9,0	7,8	9,6	8,4	19,4
CaO	10,2	12,3	12,5	13,7	16,1	11,5
Na <sub>2</sub> O	0,5	0,8	0,8	0,3	0,5	0,3
K <sub>2</sub> O	0,05	0,05	0,1	0,01	0,01	0,01
Razem	98,9	98,7	98,85	99,61	99,41	98,46

fragmenty bazaltowe lub pojedyncze składniki tych skał, 2 — szliste kuleczki, 3 — materiał meteorytyczny, 4 — cementujące wszystko szklivo (tab. 8).

Gleba księżycowa. Próbki do badań gleby pochodziły zarówno z rdzeni, jak i z pojemników, w których gromadzono skały księżycowe. Na podstawie analiz stwierdzono, że glebę tworzy materiał w 90% drobniejszy niż 1 mm. Średnia średnica cząstek wynosi 62 mikrony, średnica modalna — 20 mikronów. Składniki gleby są dość dobrze wyselekcjonowane, przypominające pod tym względem glinę morenową. Gleba księżycowa różni się od niej przewagą frakcji drobniejszej, podczas gdy w morenach przeważa frakcja grubsza. Gleba księżycowa wykazuje ponadto niedobór frakcji drobniejszej od 15 mikronów. Średnia gęstość składników frakcji drobniejszej od 1 mm wynosi  $3,01 \text{ g/cm}^3$ , wahając się od  $2,00$  do  $3,32 \text{ g/cm}^3$ . Wartości te są niższe od wartości gęstości skał —  $3,2$ — $3,4 \text{ g/cm}^3$  i niższe od wartości materiału pyłowego z rdzeni, która wynosi  $3,1 \text{ g/cm}^3$ . Mniejsza gęstość frakcji poniżej 1 mm wywołana jest obecnością szkliva w glebie. Na glebę księżycową składają się 4 zasadnicze składniki.

1. Fragmenty skał, które podzielić można według frakcji na trzy grupy: 0,1—0,5 mm, 0,05—0,1 mm oraz frakcję drobniejszą od 0,05 mm. Grubsze fragmenty skalne składają się zwykle z klinopiroksenów, skaleni, ilmenitu, krystalobalitu i troilitu. Obecne są również drobne grudki żelaza z domieszką niklu stanowiącą ok. 0,5%. Materiał bardzo drobnoziarnisty do szklanego posiada teksturę bardzo zmienną. Krzemiany występują tu albo w postaci kryształów, albo szkliva. Zdarzają się także kryształy szkieletowe piroksenów, poprzerastane lamelkami szkliva. 10—15% frakcji poniżej 1 mm stanowią fragmenty połamanych kryształów, przy czym kryształy o średnicy ponad 1 mm są niezwykle rzadkie, co sugeruje, że większość skał księżycowych posiada strukturę drobnoziarnistą. Wśród fragmentów kryształów obecny jest również oliwin, którego brak jest na ogół w większych fragmentach skalnych.

Wiele kryształów nosi ślady deformacji. Kryształy są przeważnie przezroczyste i polikrystaliczne. Wśród fragmentów skalnych reprezentowane są właściwe bazalty: 50% stanowią odmiany bardzo drobnoziarniste do szklistych, 30% odmiany drobnoziarniste oraz 20% drobno- do średnioziarnistych.

2. Głównymi składnikami gleby są fragmenty brekcji, stanowiące blisko 25% frakcji 500—1000 mikronów, jak również większą część frakcji drobniejszej. Fragmenty te o nieregularnych zarysach mają barwę szarą. Wiele z nich posiada teksturę porowatą oraz wklęsłą powierzchnię. Inne fragmenty są silnie zestalone, twarde, tworząc agregaty składające się ze skał i nieregularnych fragmentów szkliva o bardzo różnym składzie. Fragmenty skał, szklivo o pęcherzykowatej teksturze oraz szkliste kuleczki obserwowane w brekcji wskazują, że brekcja tworzyła się jako wierzchnia warstwa na powierzchni Księżyca. Brekcja nie zawiera tak wiele magnetycznego szkliva jak reszta gleby.

3. Ciemne, magnetyczne szklivo o dużych ziarnach i różnych barwach — od ciemnooliwkowobrazowych do czarnych. Stanowi ono 20—25% gleby. Jeśli chodzi o kształty ziarenek, występuje w różnych odmianach. Szklivo to jest niejednorodne. Często zawiera częściowo zresorbowane kryształy skaleni i ilmenitu. Występują tu również liczne kuleczki metaliczne z niklem, którego zawartość waha się w granicach 4—15%. Intensywność zabarwienia szkliva zależy zwykle od obecności drobnych



wrostków. Tekstura szkliwa jest pęcherzykowata. Wszystkie cechy tego materiału wskazują na to, że tworzył się on w warunkach krótko trwającej wysokiej temperatury.

4. Przezroczyste szkliwo o różnych barwach: bursztynowych, ciemnoczerwono-brązowych, jasnozielonych, żółtych albo zupełnie bezbarwnych. Szkliwo to jest homogeniczne. Niekiedy zawiera niekompletnie stopione ziarenka ilmenitu. Najczęściej występuje ono w postaci kuleczek, pręcików albo też nieregularnych form. W drobniejszych frakcjach ilość kuleczek zwiększa się. Większość kuleczek powstała przypuszczalnie nie przez stopienie ziarn mineralnych, lecz stanowi pewnego rodzaju związek chemiczny. Na przykład wiele kuleczek żółtych posiada skład chemiczny podobny do składu skał. Kuleczki jaśniejsze zawierają mniej żelaza i tytanu, a więcej magnezu, wapnia i glinu. Barwa bursztynowa kuleczek związana jest z pewnością z wysoką zawartością tytanu (tab. 9).

Tabela 9

Skład chemiczny form szklitych w glebie księżycowej we frakcji poniżej 1 mm  
(M.B. Duke, Ch.Ch. Woo, M.L. Bird, G.A. Sellers, R.B. Finkelman, 1970)

Tlenki	Forma i barwa szkliwa											
	formy nieregularne frakcji poniżej 10 $\mu$	szkliste kuleczki barwy bursztynowej	szkliste kuleczki oliwkowo-brązowe	szkliste kuleczki barwy czarnej	szkliste kuleczki barwy ciemnożółtej	szkliwo czerwono-brunatne	szkliste kuleczki jasnozielone	szkliste kuleczki bezbarwne	szkliste kuleczki zielone	szkliste kuleczki jasnozielone		
SiO <sub>2</sub>	45,2	45,5	43,0	38,1	34,9	37,7	41,9	44,5	49,5	55,4	47,0	41,7
TiO <sub>2</sub>	2,0	3,1	6,5	10,4	9,8	10,4	9,3	0,1	0,5	0,9	0,2	0,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,4	14,0	11,7	4,5	13,5	5,0	8,5	14,6	28,0	1,4	24,9	6,5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,5	0,3	—	—	—	<0,1	0,4
FeO	6,4	12,0	14,0	23,8	15,8	23,6	17,4	15,0	2,5	10,4	4,0	14,7
MgO	3,1	8,0	7,2	11,9	8,3	12,3	6,9	9,6	2,0	16,7	7,5	23,6
CaO	13,0	12,0	10,6	7,8	14,8	8,2	11,0	11,8	14,0	20,1	13,7	6,8
Na <sub>2</sub> O	<0,1	<0,1	0,4	0,9	—	0,1	0,4	0,5	<0,1	—	—	—
Razem	99,1	94,6	93,7	97,5	97,1	97,7	97,1	96,1	96,5	105,2	97,3	94,1

Widoczne są różnice w składzie gleby w zależności od średnicy ziarna. Zawartość materiału magnetycznego, zawierającego głównie szkliwo, wzrasta we frakcjach drobniejszych z 50% we frakcji 500 mikronów do 75% w frakcji 37 mikronów. Ilość fragmentów kryształów zawierających przerosty mineralne wzrasta we frakcjach drobniejszych. Skład gleby jest bardziej jednorodny we frakcjach drobniejszych, zawiera wtedy więcej szkliwa. Szkliwo frakcji drobniejszej niż 10 mikronów odznacza się niską zawartością tytanu i żelaza, a wysoką zawartością glinu.

Gleba księżycowa powstała prawdopodobnie przez sproszkowanie drobnoziarnistych skał bazaltowych, położonych blisko powierzchni księżycowej oraz brekcji, której geneza nie jest jeszcze całkowicie wyjaśniona. Krótkotrwałe stopienie materiału na powierzchni Księżyca wywołało

konsolidację gleby w bryłki, co może tłumaczyć brak najdrobniejszej frakcji. Pochodzenie kuleczek metalicznych, kulek bezbarwnych oraz niektórych innych składników gleby nie jest na razie wyjaśnione.

### PODSUMOWANIE

Próbki skał przywiezione przez załogę Apollo 11 pochodzą z wierzchniej warstwy zwietrzliny, pokrywającej grubą warstwą powierzchnię Morza Spokoju, przy czym astronauci zebrali je z dość małego obszaru. Dlatego jest rzeczą zrozumiałą, że z analiz tych skał nie można wysnuwać jeszcze zbyt daleko idących wniosków, ani tworzyć na ich podstawie jakiejś syntezy wiadomości o budowie Księżyca i jego historii. Niemniej te pierwsze wiadomości dotyczące budowy skorupy księżycowej są dla nas niezmiernie pasjonujące, szczególnie dlatego, że spotykamy się tu ze znanymi nam z Ziemi skałami i minerałami. Wskazuje to na wielką jedność historii planet i ich budowy.

Badania geologiczne rozpoczęte przez misję Apollo 11 prowadzone będą w czasie następnych wypraw statków typu Apollo. Każda z nich wzbogacać będzie naszą wiedzę o Księżycu, jego historii i genezie wszechświata.

Muzeum Ziemi PAN  
Warszawa, al. Na Skarpie 20/26  
Nadesłano dnia 8 czerwca 1970 r.

Крыстына НАВАРА

### ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛУННЫХ ПОРОД

#### Резюме

20.VII.1969 г. на Море Спокойствия на Луне высадились двое астронавтов с Аполло II — Е. Алдрин и Н. Армстронг. Море Спокойствия покрыто толстым слоем выветренных пород, которые состоят из частичек различной величины — от мелких почти не видимых простым глазом до глыб диаметром свыше 1 м. Толщина слоя выветренных пород составляет 3—6 м.

Астронавты собрали около 21,5 кг образцов лунных пород с верхнего слоя выветренной толщи. 24.VII.1969 г. первые образцы лунных пород прибыли на Землю. Лунные породы исследовало свыше 600 ученых из 10 стран. С 5 до 8 января 1970 г. исследователи лунных пород участвовали в научной конференции, посвященной лунным породам, состоявшейся в Хаустон, в Техасе. Результаты анализа лунных пород были представлены в свыше 140 рефератах. Эти рефераты касались следующих проблем: возраста лунных пород, микроэлементов, химического состава лунных пород, изотопов благородных газов и т. п., минералогии и петрографии, исследований методом Мэсснауэра, магнитных и электрических свойств лунных пород, других свойств пород и минералов, а также органической химии.

Породы, доставленные Аполло 11, разделены на 4 типа: тип А — ферробазальты, тип В — микрогаббро, тип С — микробрекчия и тип D — почва или лунная пыль.

Возраст лунных пород определен несколькими методами. Возраст почвы и брекчии составляет  $4,6 \times 10^9$  лет. Подобные величины дали анализы габбро и анортозитов. Возраст базальтов определен как  $3,65 \times 10^9$  лет.

Возраст лунных базальтов одновременно является и возрастом Моря Спокойствия, которое представляет собой огромную плоскость, покрытую базальтовой лавой. Возвышенности, окружающие Море Спокойствия, вероятно сложены анортозитами.

Химический состав лунных пород в значительной степени отличается от состава земных пород, а также от метеоритов. Все лунные породы проявляют необычайно высокую концентрацию титана, скандия, циркона, гафния, иттрия, а также низкое содержание натрия. Химический состав почвы и брекчии подобен составу кристаллических пород. Кроме того почва обогащена такими элементами, как: никель, кадмий, цинк, серебро, золото, медь и таллий. Это обогащение связано с наличием в почве метеоритовой материи.

Ферробазальты пузырчатые и содержат авгит, плагиоклаз, кристобалит, ильменит, а также резидуум фаялита и геденбергита. Микрогаббро не содержит фенокристаллов. Они состоят из толстых кристаллов авгита, пироксонманганита, ильменита и плагиоклаза.

Микробрекчия состоит из 4 основных компонентов — остроугольных фрагментов базальтов, или их отдельных компонентов, стекловидных шариков, метеоритового материала а также цементирующей стекловидной массы. Ферробазальты в виде брекчии содержат больше стекловидной массы, чем фрагменты этих пород, свободно лежащие на поверхности луны.

Лунная почва содержит 4 основных компонента — фрагменты пород, фрагменты брекчии, темную магнитную стекловидную массу, а также прозрачную стекловидную массу различной окраски.

---

Krystyna NAWARA

#### THE FIRST RESULTS OF LUNAR ROCKS INVESTIGATIONS

On 20 July 1969 two Apollo 11 astronauts E. Aldrin and N. Armstrong landed on the surface of Sea of Tranquility on the Moon. At this site the lunar surface is covered by weakly coherent fragmental material — the lunar regolith which ranges in size from particles too fine to be seen with the naked eye to blocks more than a meter across. The thickness of the regolith layer ranges from about 3 to 6 metres.

The astronauts collected about 21,5 kg of lunar samples from a thin fraction of Moon's surface. On 24 July 1969 the first samples of lunar rocks landed on the Earth. The lunar samples were investigated by more than 600 scientists from 10 countries. From 5 to 8 January 1970 the investigators of lunar rocks took part in a Lunar Science Conference held at Houston, Texas. The results of lunar rocks analysis were presented in more than 140 reports. They concerned following problems: age of lunar rocks, trace elements, abundance of major elements, stable isotopes, rare gases etc, mineralogy and petrology of lunar rocks, Mössbauer studies, magnetic and electrical properties, other physical properties of rocks and minerals, organic chemistry.

The Apollo 11 lunar samples consist of 4 types of rocks: 1. type A — ferrobasalts, 2. type B — microgabro, 3. type C — microbreccias, 4. type D — soil or dust.

The ages of lunar rocks were determined by several methods. Soil and breccias give ages of  $4,6 \times 10^9$  years. Gabros and lunar anorthosites give similar values. Lunar basalts give age of  $3,65 \times 10^9$  years.

The age of lunar basalts is the same time the age of Sea of Tranquility which is a great plain covered by basaltic lavas. The uplands which surround Sea of Tranquility are probably anorthositic.

The chemical compositions of lunar rocks are quite different than these of rocks of Earth and of meteorites. All lunar rocks have unusually high concentrations of titanium, scandium, zirconium, hafnium, yttrium and low concentrations of sodium. The composition of the soil and breccias is similar to the composition of crystalline rocks but soil is also enriched in nickel, cadmium, zinc, silver, gold, copper and thallium. This enrichment is consistent with the observed occurrence of meteorite material in the soil.

Ferrobasalts are vesicular containing augite, plagioclase, cristobalite, ilmenite and residuum of fayalite and hedenbergite. Microgabbros lack phenocrysts and contain coarse-grained augite, pyromangite, ilmenite, plagioclase.

Microbreccias contain four principal components — angular fragments of basaltic rocks, or their individual minerals, glassy spheres, meteoritic material and a cementing glass. Ferrobasalts fragments in breccia contain more residual glass than individual ferrobasalts.

Lunar soil contains four principal constituents — rocks fragments, breccia fragments, dark magnetic glass and transparent glass of a variety of colors.

(Author's translation)

#### TABLICA I

Fig. 1. Fragment zachodniej części księżycowego Morza Spokoju. W dole wyraźnie widoczne zastygłe potoki lawy, wśród których występują liczne kratery. Z prawej strony krater Bruce, którego średnica wynosi około 6 km. Fot. Apollo 10, maj 1969 r.

Fragment of the western part of the lunar Sea of Tranquility. At the bottom there are seen solidified lava streams and numerous craters. To the right — Bruce's crater, the diameter of which amounts to about 6 km. Phot. Apollo 10; May 1969

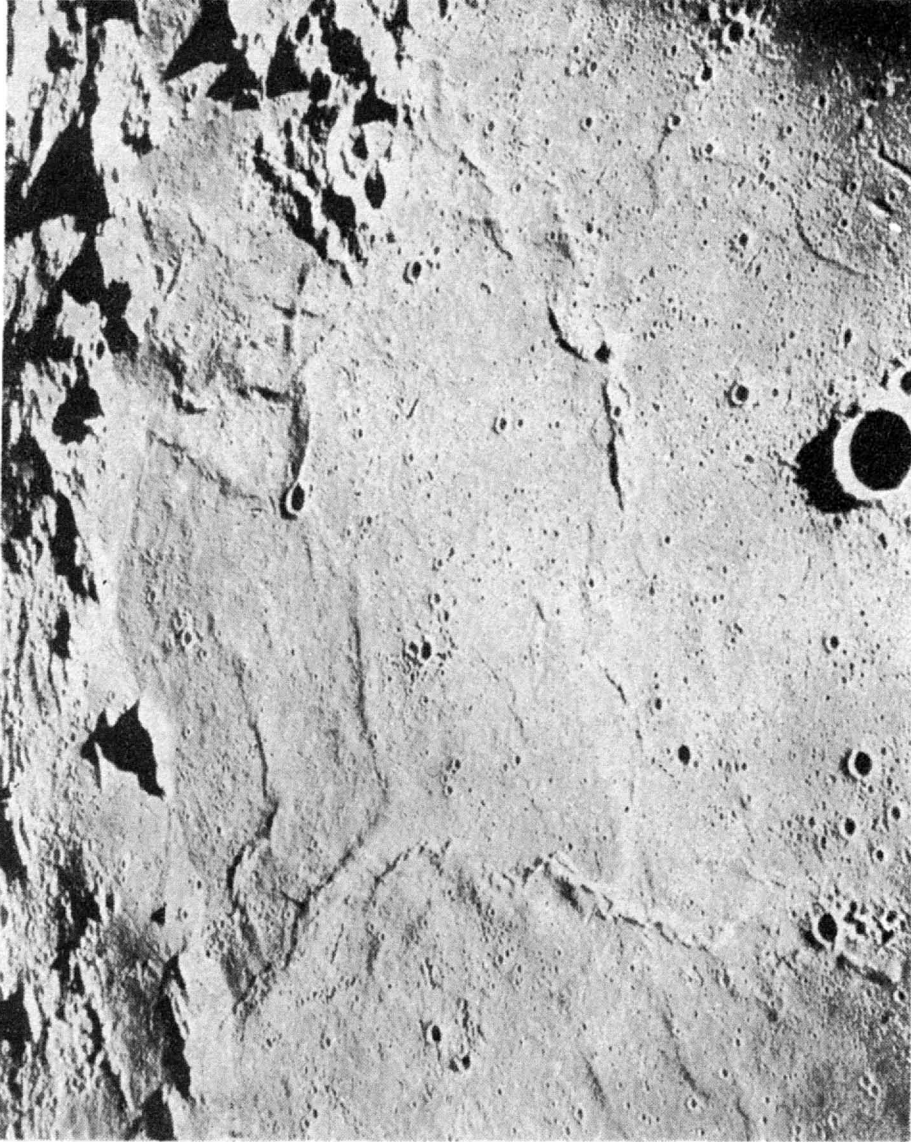


Fig. 1

#### TABLICA II

Fig. 2. Krater na Morzu Spokoju, w którego pobliżu wylądowali astronauta Apollo 11. Dno krateru pokryte jest grubą warstwą gruzu skalnego. Fot. N. Armstrong, lipiec 1969 r.

Crater in the Sea of Tranquility, at which astronauts of Apollo 11 landed. Crater bottom covered with a thick bed of rock rubble. Phot. by N. Armstrong; July 1969



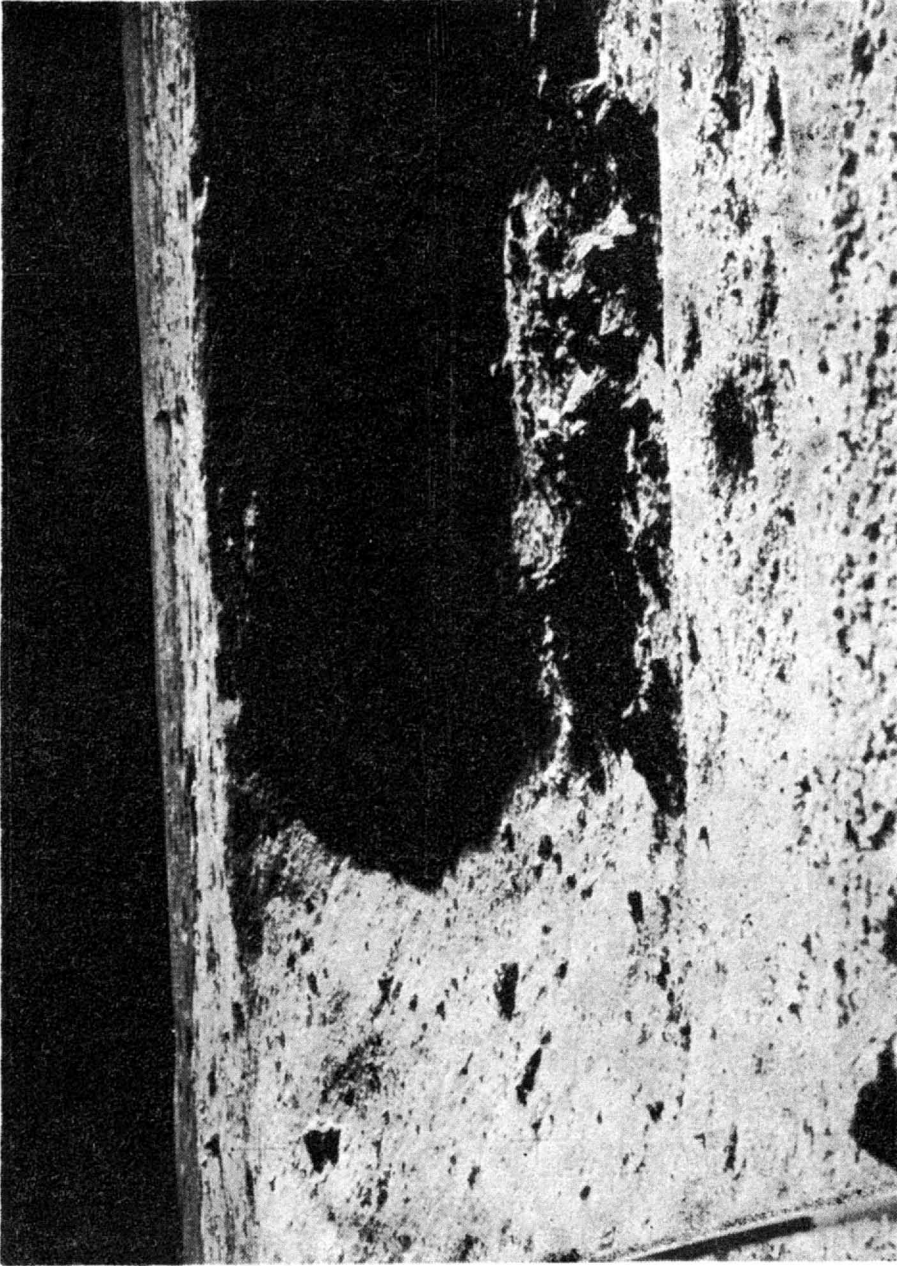


Fig. 2

**TABLICA III**

**Fig. 3. Jeden z astronautów Apollo 12 pobiera próbkę rdzeniową z powierzchni Księżyca. Listopad 1969 r.**  
**One of the astronauts of Apollo 12 takes core sample on the Moon's surface; November 1969**

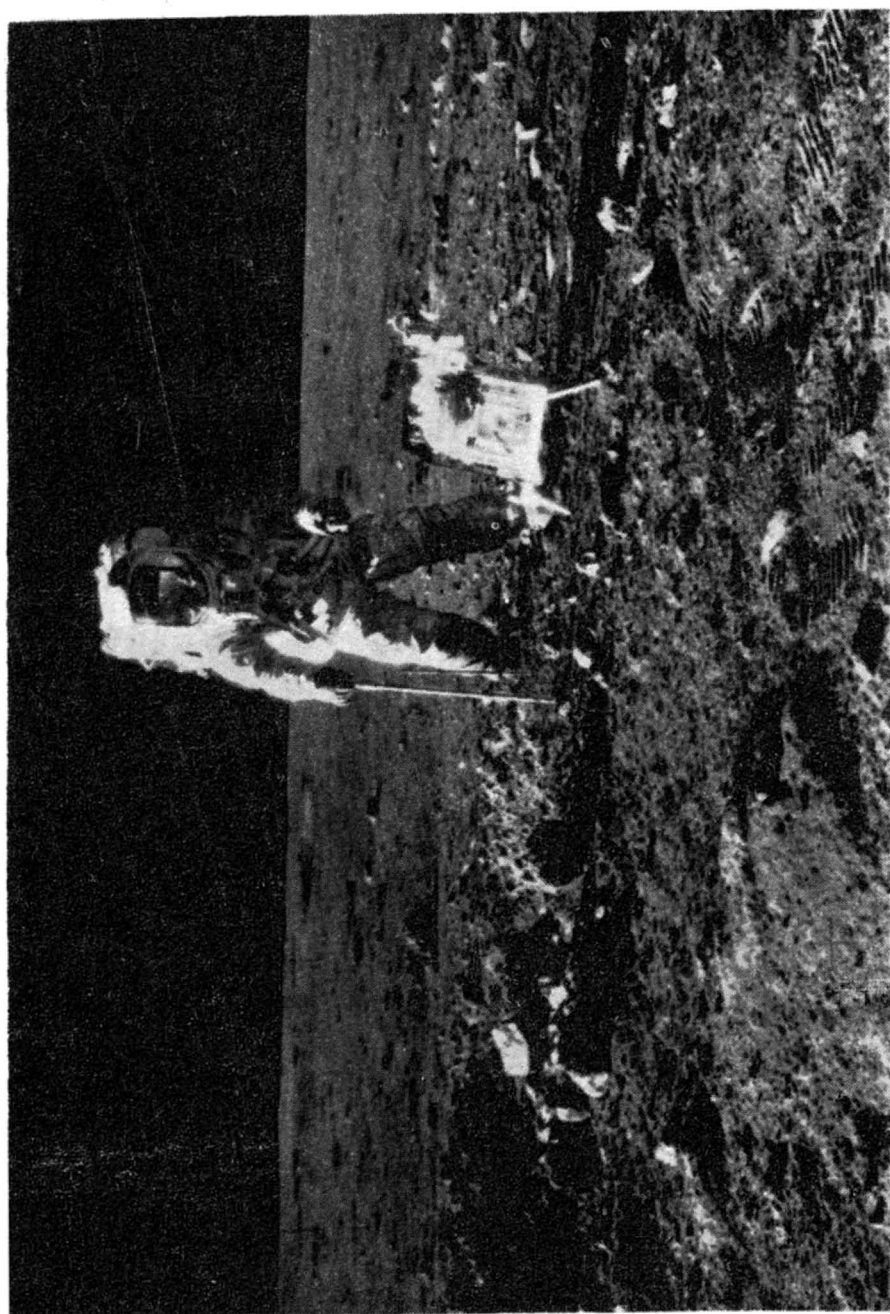


Fig. 3

Krzyszta NAWARA — Pierwsze wyniki badań skał księżycowych

**TABLICA IV**

**Fig. 4. Ślad stopy N. Armstronga odcisnięty w pyle na powierzchni księżycowej.  
Fot. N. Armstrong, lipiec 1969 r.  
Imprint of N. Armstrong's foot on the Moon's surface dust. Phot. by N.  
Armstrong; July 1969**

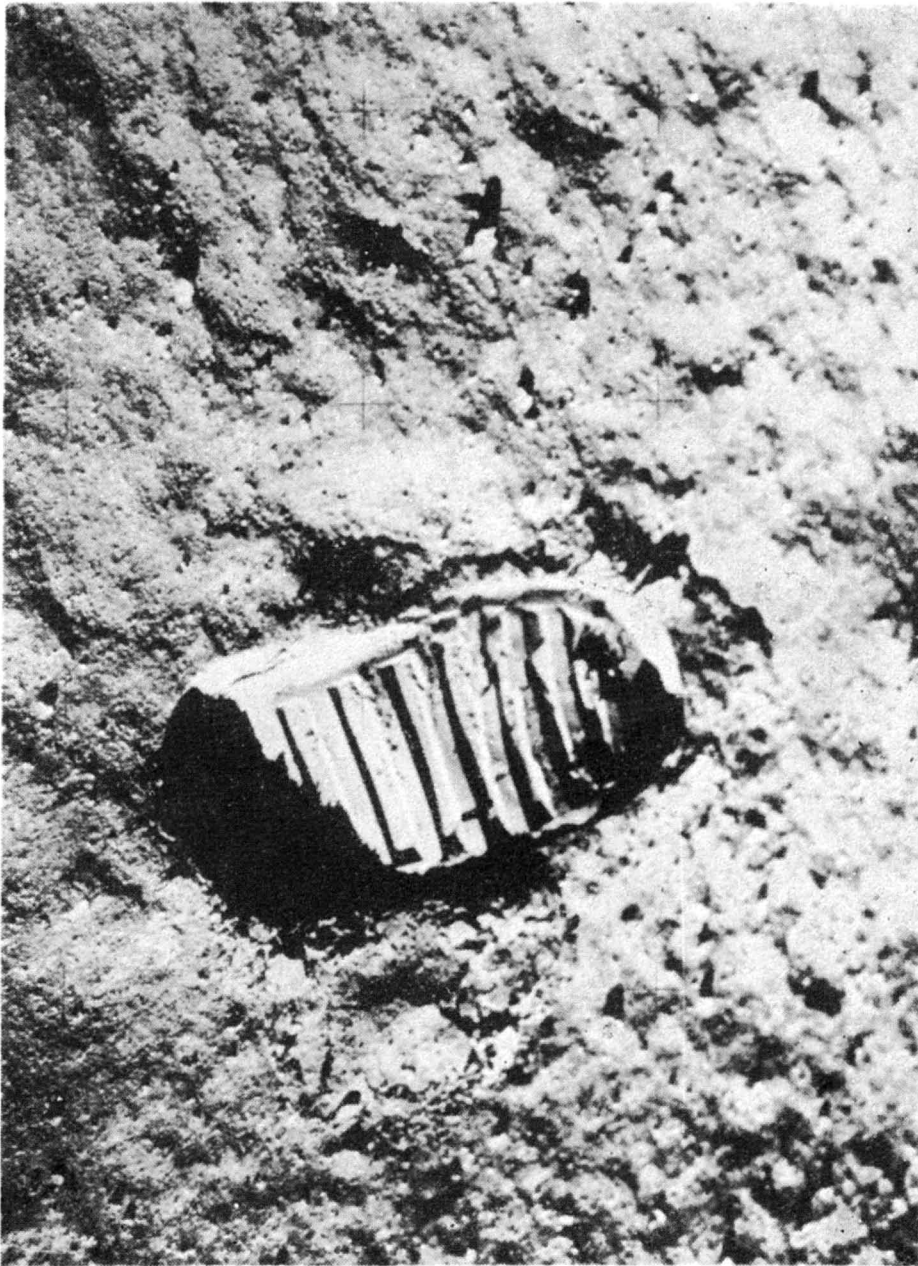


Fig. 4

#### TABLICA V

Fig. 5. Fragment powierzchni księżycowej w dużym powiększeniu. Fotografia obejmuje powierzchnię ok. 75 mm<sup>2</sup> i przedstawia pył częściowo scementowany. Widoczne są tu również liczne kuleczki, których średnica nie przekracza 1 mm. Fot. N. Armstrong, lipiec 1969 r.

Fragment of Moon's surface, strongly magnified. The photograph covers an area of about 75 mm<sup>2</sup> and illustrates partly cemented dust. There are also seen numerous small globules, the diameter of which does not exceed 1 mm. Phot. by N. Armstrong; July 1969

Fig. 6. Jedna z próbek skalnych przywieziona przez załogę Apollo 11. Reprezentuje ona drobnoziarniste skały magmowe.

One of the rock samples brought by the astronauts of Apollo 11. It represents fine-grained magmatic rocks



Fig. 5

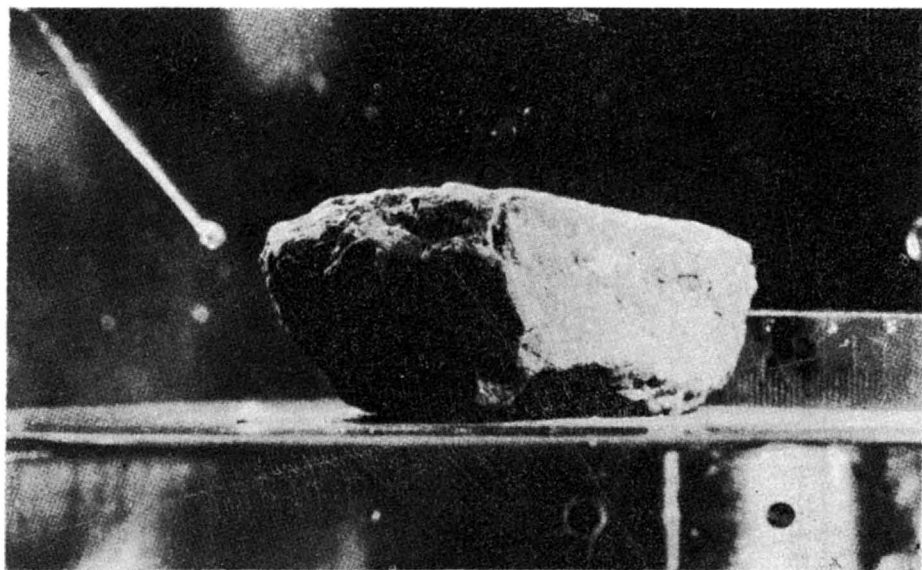


Fig. 6



**TABLICA VI**

**Fig. 7. Próbki skał księżycowych przywiezione przez załogę Apollo 12, listopad 1969 r.**

**Samples of lunar rocks brought by the astronauts of Apollo 12; November 1969**

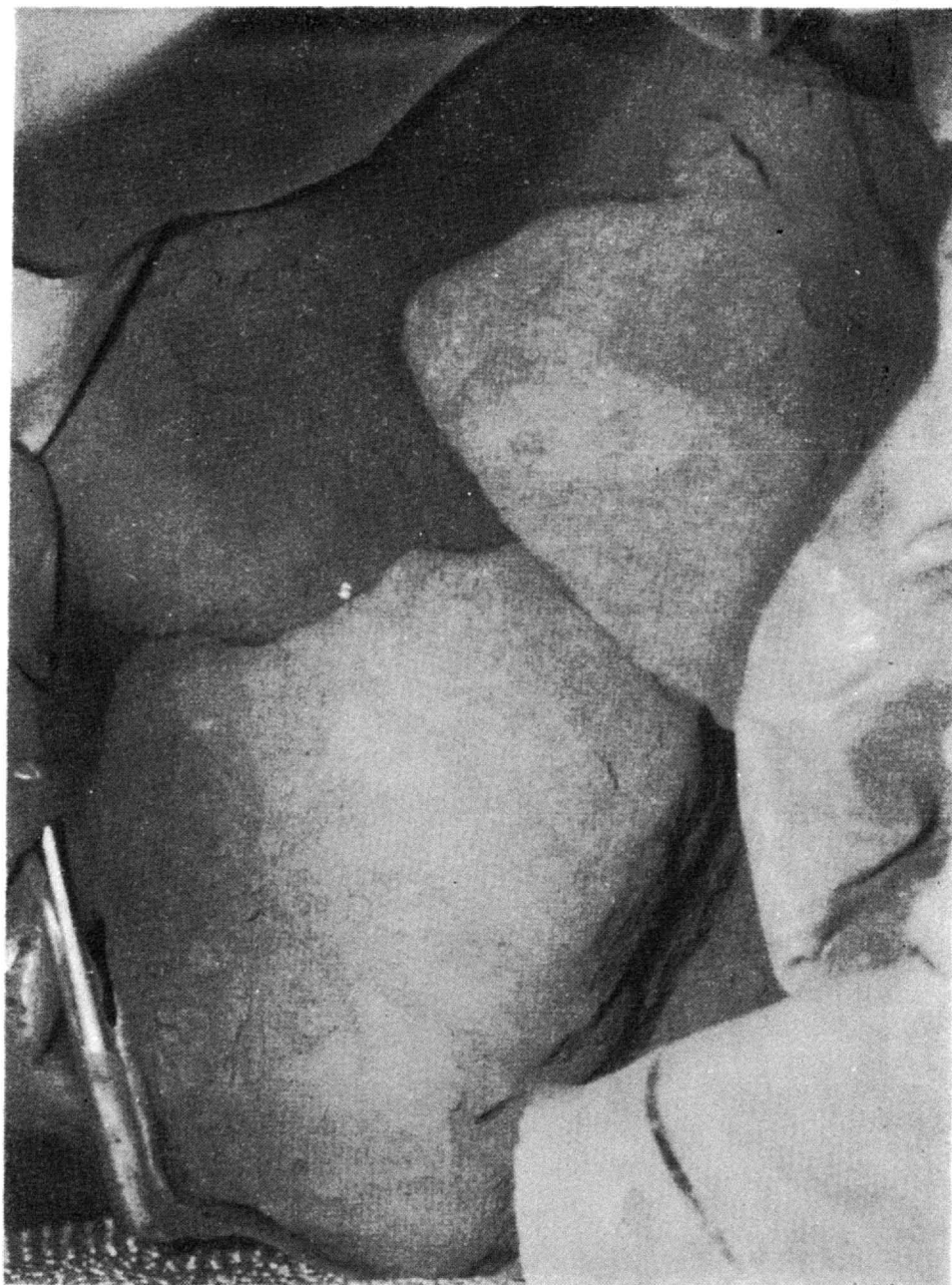


Fig. 7