

Andrzej JAWORSKI

## Asocjacje geochemiczne pierwiastków grupy żelaza w skałach ultramaficznych i w bazaltach Księżyca

Przedstawiono wyniki badań statystycznych 9 pierwiastków w skałach księżycowych dostarczonych na Ziemię przez Łunę 16 i 20. Dokonano porównań z analogicznymi rozważaniami poczynionymi dla kilku typów skał ziemskich. Wskazano na podobieństwo w zachowaniu się badanych pierwiastków w materii księżycowej i ziemskiej.

### WSTĘP

W poprzedniej pracy autor matematycznie udowodnił istnienie w materii księżycowej asocjacji geochemicznych pierwiastków grupy żelaza, podobnych — jak to wykazano — dla niektórych typów skał ziemskich (A. Jaworski, 1976). Wykonane obliczenia obejmowały dane analityczne próbek bazaltów, gabr, brekcji i gleb księżycowych dostarczonych przez amerykańskie statki kosmiczne typu Apollo.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analogicznych badań wykonanych dla skał ultramaficznych (głównie anortozytów) oraz bazaltów pobranych przez radzieckie pojazdy kosmiczne Łuna 16 i 20. Oznaczenia chemizmu tych skał zostały wykonane w Instytucie Geologicznym oraz w Instytucie Fizyki Jądrowej w Pradze, wyniki oznaczeń zaczerpnięto z pracy opublikowanej w 1975 r. (A. Cymbalnikowa, T. Paliwcowa, I. Frana, A. Maształka, 1975). Metodyka badań oraz dane dotyczące stosowanych programów na maszynie matematyczną Odra 1204 zostały omówione we wcześniejszych pracach autora (A. Jaworski, 1972, 1975a).

### AŚOCJACJE PIERWIASTKÓW W SKAŁACH ULTRAMAFICZNYCH KSIĘŻYCA

Badania statystyczne wykonano wykorzystując wyniki 15 analiz zawartości Fe, Mg, Co, Cr, V, Mn, Ba i Sr, odłamków anortozytów, norytów anortozytowych, troktolitów i troktolitów spinelowych pobranych z powierzchni Księżyca przez Łunę 16 i 20.

Tabela 1

Wyniki badań statystycznych zawartości pierwiastków w skałach ultramaficznych księżycowych (z 15 analiz)

Pierwiastek	Średnie arytmetyczne zawartości w ppm	Zakres oznaczeń w ppm	Odchylenie standardowe S	Wariancje S <sup>2</sup>	Wskaźnik zmienności	Typ rozkładu częstości wg metody Smirnowa	Zawartości standardowe w skałach ultrazasadowych Ziemi wg K. K. Turekiana, K.H. Wedepohla (1961)
Fe	33840	14000—600000	21429	459,2 · 10 <sup>6</sup>	63	lognormalny	98500
Co	76	21—250	58	3364,7	76	lognormalny	150
Cr	839	10—1800	605	365,8 · 10 <sup>3</sup>	72	lognormalny	1600
V	27,5	0—90	26	699,2	96	lognormalny	40
Mn	474	50—1000	314	98402,2	66	lognormalny	1620
Mg	59667	12000—117000	38263	146,4 · 10 <sup>6</sup>	64	lognormalny	259000
Ba	164	10—300	73	53,8	44	bliski normalnemu	0,4
Sr	170,5	0,450	181	32914	106	lognormalny	1,0

Tabela 2

## Wyniki badań statystycznych zawartości pierwiastków w bazaltach księżycowych (z 15 analiz)

Pierwiastek	Średnie arytmetyczne zawartości w ppm	Zakres oznaczeń w ppm	Odchylenie standardowe S	Wariancja S <sup>2</sup>	Wskaźnik zmienności w %	Typ rozkładu częstości wg metody Smirnowa	Zawartości standardowe w skałach ultrazasadowych Ziemi wg K.K. Turekiana, K.H. Wedepohla (1961)
Fe	158533	(101—200) · 10 <sup>3</sup>	33116	109,7 · 10 <sup>7</sup>	20,9	lognormalny	76000
Co	35,0	0—100	22,5	504,4	24,1	lognormalny	48
Cr	1860	1200—2000	338,2	114,4 · 10 <sup>3</sup>	18,2	lognormalny	170
V	80,3	51—107	19,0	362,2	23,7	bliski normalnemu	250
Mn	2046,7	1600—2500	236,3	55822,2	11,5	lognormalny	1500
Mg	45667	(25—62) · 10 <sup>3</sup>	11001	121,0 · 10 <sup>6</sup>	24,1	lognormalny	46000
Ba	351,8	243—460	76,2	5802,4	21,6	lognormalny	330
Sr	486,6	0—1100	361,7	130,9 · 10 <sup>3</sup>	74,3	lognormalny	465
Ti	24467	(14—38) · 10 <sup>3</sup>	63861	407,8 · 10 <sup>5</sup>	26,1	lognormalny	13800

Koncentracje wymienionych pierwiastków są bardzo zmienne i najczęściej odbiegają od danych standardowych wyliczonych dla ultramaficznych skał ziemskich (tab. 1). Świadczą o tym zarówno duże rozpiętości oznaczanych stężeń pierwiastków, jak i wyliczone wskaźniki zmienności. W badanych skałach księżycowych stwierdza się: prawie trzykrotnie mniejszą średnią zawartość żelaza i manganu, blisko dwukrotnie niższą zawartość Co, Cr i V, znacznie mniej magnezu, więcej natomiast baru i strontu. Wyniki przeliczeń statystycznych zestawiono w tabeli korelacyjnej (fig. 1).

Tabela 3

Zestawienie współczynników korelacji wielorakiej i cząstkowej dla pierwiastków w skałach ultramaficznych Księżyca

Współczynnik korelacji wielorakiej	Kryterium $\tau \geq 5$	Współczynnik korelacji cząstkowej	Kryterium Fischera $t \geq 3$
$R_{FeMgCr} = 0,902$	17,9	$r_{FeMg/Co} = 0,818$	3,98
$R_{FeCoCr} = 0,903$	18,0	$r_{FeCr/Co} = 0,886$	4,90
$R_{FeCrV} = 0,880$	14,0	$r_{CrV/Co} = 0,859$	4,50
$R_{FeBaMn} = 0,836$	9,5	$r_{FeMn/Ba} = 0,807$	3,87

W omawianych skałach wykryto istnienie bardzo silnych związków prostej korelacji liniowej następujących par pierwiastków: Fe—Mg, Fe—Cr, Fe—V, Fe—Mn, Mg—Cr, V—Cr. Z prawdopodobieństwem zaledwie około 50% wykrywalna jest więc korelacyjna kobaltu z chromem i z wanadem, baru z żelazem oraz na poziomie ufności 63% — więc wanadu z barem.

Uzyskane wyniki potwierdzają badania współczynników korelacji wielorakiej i cząstkowej, które z maksymalnym prawdopodobieństwem wskazują na istnienie korelacji liniowej triad pierwiastków grupy żelaza (Fe—Mg—Cr, Fe—Co—Cr, Fe—Cr—V) oraz baru z żelazem i manganem (tab. 3).

Współczynniki korelacji cząstkowej wymienionych triad pierwiastków wykazały, że obecność koncentracji kobaltu w skałach ultramaficznych Księżyca nie warunkuje powstania wyżej wymienionych związków korelacyjnych żelaza z magnezem, z chromem czy z wanadem, bar natomiast nie wpływa na więź żelaza z manganem (tab. 3).

Dla pierwiastków o wysokiej wartości współczynników prostej korelacji liniowej wyliczono następujące równania regresji:

$$C_{Fe} = 0,016 C_{Mg} + 0,211 C_{Cr} - 12268,$$

$$C_{Fe} = 0,000 C_{Cr} + 29,0 C_V - 24339,$$

przy czym  $C_{Fe}$ ,  $C_{Mg}$ ,  $C_{Cr}$ ,  $C_V$  — stężenia żelaza, magnezu, chromu i wanadu.

Wynika z nich, że w badanym środowisku geochemicznym żelazo bardziej jest związane z chromem niż z magnezem, najbardziej jednak z wanadem, podobnie jak to stwierdzono w ziemskich skałach wzboga-

$r$ $t$	Fe	Mg	Co	Cr	V	Ba	Sr	Mn	Ti
Fe		<u>4,0</u>		<u>4,7</u> 1,45	<u>3,7</u> 1,45	<u>1,43</u>		<u>4,2</u> 1,9	<u>1,35</u>
Mg	<u>0,82</u>			<u>4,2</u>					
Co				<u>1,4</u>	<u>1,46</u> 1,62				
Cr	<u>0,88</u> 0,39	<u>0,84</u>	<u>0,37</u>		<u>4,8</u>				
V	<u>0,79</u> 0,39		<u>0,40</u> 0,44	<u>0,88</u>		<u>2,1</u>			<u>1,35</u>
Ba	<u>0,39</u>				<u>0,54</u>				
Sr								<u>2,35</u>	
Mn	<u>0,83</u> 0,49						<u>0,59</u>		
Ti	<u>0,37</u>				<u>0,37</u>				$t$ $r$

Fig. 1. Tabela korelacyjna pierwiastków grupy żelaza oraz Mg, Ba, Sr w skałach ultramaficznych (liczby nad kreską) oraz w bazaltach Księżyca (liczby pod kreską) Correlation table of elements of the iron group and Mg, Ba, Sr in ultramafic rocks (numbers above stroke) and Moon basalts (numbers below the stroke)

$r$  — współczynnik prostej korelacji liniowej;  $t$  — kryterium Fischera ( $\geq 3$ )

$r$  — simple linear correlation coefficient;  $t$  — Fischer criterion ( $\geq 3$ )

conych w pirokseny, hornblendy, biotyty oraz w magnetyt i tytanomagnetyt (A. Polański, K. Smulikowski, 1969).

Z wyjątkiem baru, wszystkie badane pierwiastki charakteryzują się lognormalnym typem rozkładu częstości, o czym świadczą zarówno histogramy omawianych metali jak też wyniki przeliczeń statystycznych wykonanych wg metody Smirnowa (tab. 1).

## ASOCJACJE PIERWIASTKÓW W BAZALTACH KSIĘŻYCA

Dysponowano 15 wynikami analiz wyżej wymienionych pierwiastków śladowych oraz tytanu dla okazów bazaltów głównie typu oceanicznego, wybranych z regolitu księżycowego. W stosunku do bazaltów ziemskich omawiane skały charakteryzują się blisko dwukrotnie wyższą zawartością żelaza i tytanu, przeszło dziesięciokrotnie wyższą średnią zawartością chromu oraz bliskimi średnimi standardowymi dla skał ziemskich stężeniami Co, Ba, Sr i Mg. W badanych bazaltach jest nieco więcej manganu, mniej kobaltu i wanadu niż wnoszą odnośne dane dla ziemskich

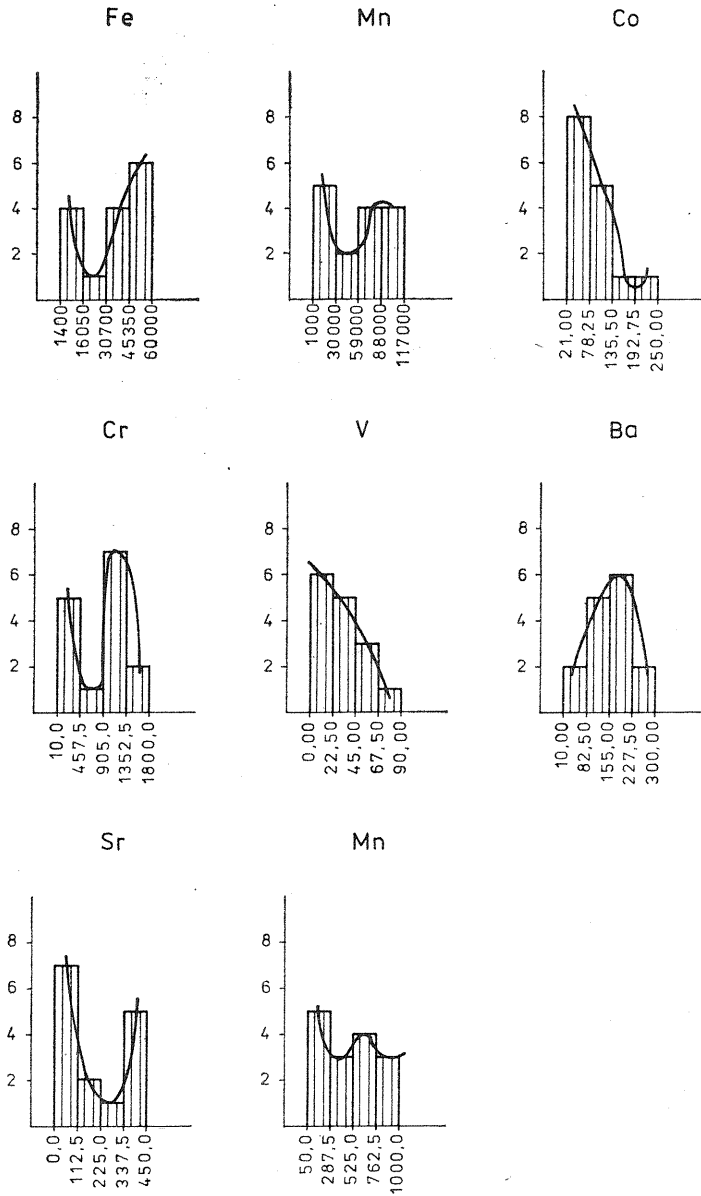


Fig. 2. Histogramy pierwiastków grupy żelaza oraz Mg, Ba, Sr w skałach ultramaficznych Księżyca

Histograms of elements of the iron group and Mg, Ba and Sr in ultramafic rocks from Moon

skał zasadowych (tab. 2). Ta nietypowość geochemiczna bazaltów (o charakterze odwrotnym niż to stwierdzono dla anortozytów — tab. 1) jest w chwili obecnej trudna do wyjaśnienia. Być może próbki pobrane zo-

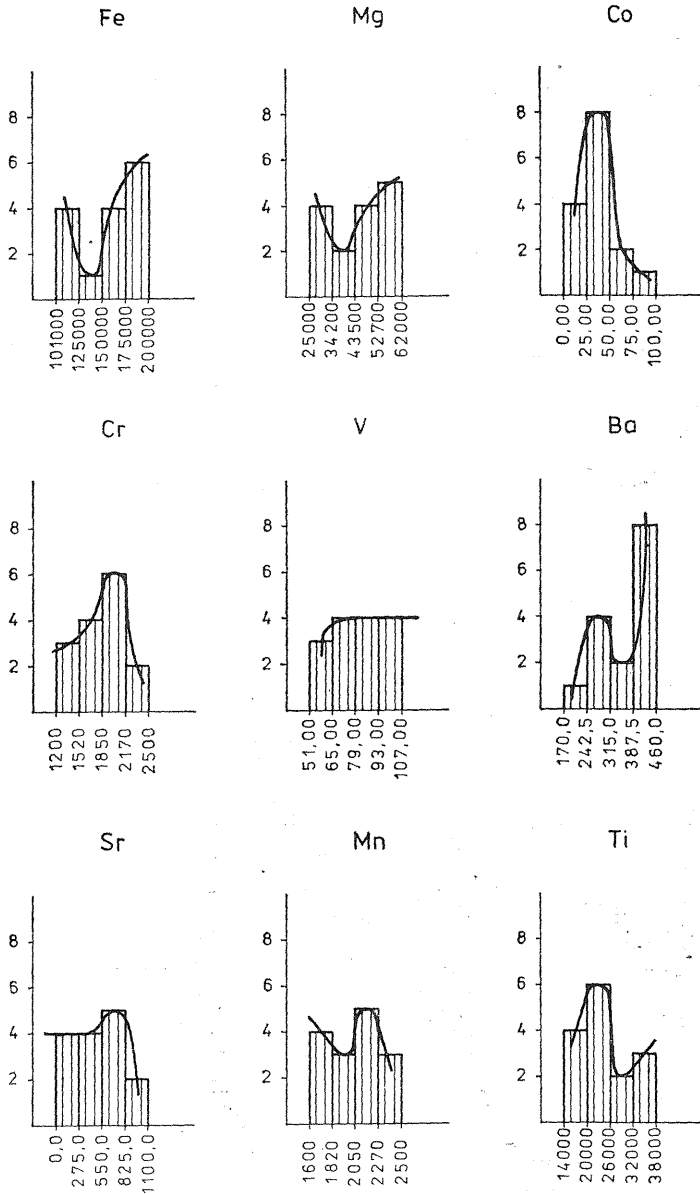


Fig. 3. Histogramy pierwiastków grupy żelaza oraz Mg, Ba, Sr w bazaltach Księżyca

Histograms of elements of the iron group and Mg, Ba and Sr in basalts from Moon

stały z obszaru silnie zróżnicowanego (A. Jaworski, 1976). Wobec braku większej ilości materiału analitycznego obejmującego znacznie większe obszary Księżyca nie można jeszcze uogólnić opinii o zasadniczej odmienności geochemicznej różnych typów skał księżycowych w odniesieniu do ich ziemskich odpowiedników.

W omawianych skałach bazaltowych wykryto szereg prostych związków korelacyjnych niektórych par pierwiastków, jednak na znacznie niższym poziomie ufności (około 50%). Słabo zaznacza się więc Fe—Cr, Fe—V, Fe—Ti oraz V—Ti (tab. 1). Z prawdopodobieństwem około 60% można mówić o więzi żelaza z manganem, kobaltu z wanadem oraz manganu ze strontem. Nie wykryto więzi korelacyjnej żelaza z magnezem i chromem występującej z maksymalnym prawdopodobieństwem w badanych skałach ultramaficznych.

Warto zwrócić uwagę na znacznie mniejszą zmienność oznaczeń zawartości pierwiastków w bazaltach w stosunku do skał anortozytowych Księżyca (tab. 2). Wszystkie badane pierwiastki charakteryzują się lognormalnym typem rozkładu częstości, jedynie rozkład wanadu zdaje się zbliżać do typu normalnego (tab. 2, fig. 3).

### ASOCJACJE GEOCHEMICZNE PIERWIASTKÓW W SKAŁACH KSIĘŻYCOWYCH I ZIEMSKICH

Prowadzenie statystyczno-geochemicznych badań porównawczych utrudnia fakt różnorodnego składu pierwiastków oznaczanych przez różne laboratoria, stosunkowo niewielka ilość analiz skał księżycowych wreszcie trudne niekiedy w ocenie dokładności i stopnia porównywalności oznaczeń użytych metod badawczych, czasem różnych dla tego samego pierwiastka. Podobne zjawisko obserwuje się zresztą przy analizie wyników oznaczeń zawartości składników w skałach ziemskich. Użyty do przeliczeń schemat statystyczny może być stosowany dla zbioru nie mniejszego niż 14 zdarzeń jednostkowych, tak więc minimalna liczba analiz dla danego pierwiastka w określonym typie skały nie może być mniejsza niż 14 (W. Narębski, 1966; A. Jaworski, 1972). W tym aspekcie wyniki badań oraz wnioski przedstawione w artykule można uznać za statystycznie uzasadnione.

Wyniki przedstawionych badań statystycznych oraz wcześniejsze analogiczne rozważania dla materii księżycowej traktowanej jako całość wskazują, że w omawianych środowiskach geochemicznych Księżyca i Ziemi występują podobne prawidłowości w zachowaniu się pierwiastków, przy czym najlepiej przebadano dotychczas zmienności w obrębie pierwiastków grupy żelaza.

Dotychczas w materii księżycowej (skały magmowe + brekcje + regolit) stwierdzono istnienie związków prostej korelacji liniowej między Fe—Cr (z prawdopodobieństwem  $t = 53\%$ ), Fe—Zn ( $t = 91\%$ ), Ni—Co ( $t = 57\%$ ), Co—Cr ( $t = 86\%$ ), Ni—Cu ( $t = 52\%$ ). Z bardzo wysokim prawdopodobieństwem wykazano, że również układy Fe—Co—Cr, Ni—Co—Cr, Ni—V—Cu, Fe—Ni—Zn charakteryzują się wysokimi wartościami współczynników korelacji wielorakiej. Korelację triad Zn—Pb—Cu oraz Fe—Ni—Co udowodniono na poziomie ufności rzędu 62—63% (A. Jaworski, 1976).

Przedstawione w artykule wyniki badań częstości statystycznych (tab. 1—3) wykazały istnienie w skałach ultramaficznych i bazaltach, a więc



w 2 głównych znanych typach skał magmowych Księżyca, podobnych asocjacji geochemicznych oraz szeregu nowych, pozwalających dokonać porównania w zakresie prawidłowości geochemicznych rozprzestrzenienia pierwiastków w materii księżycowej i ziemskiej.

W skałach magmowych Ziemi prostą korelację liniową  $Fe^{2+}$  z  $Ni^{2+}$  stwierdził W. Sierych (1964), analogiczną więź  $Fe^{2+}$  i  $Cr^{2+}$  w bazaltach dolnośląskich oraz V i Cr w gabrach wykazał K. Szpila (1967). Próby wykazania więzi żelaza, magnezu i niklu w amfibolitach Spitsbergenu (W. Narębski, 1966) oraz w serpentynitach Szklar (A. Jaworski, 1973) nie potwierdziły istnienia oczekiwanych związków tych pierwiastków między sobą, co uzasadniono obszerniej w ostatniej z cytowanych prac. Wykazano natomiast istnienie asocjacji geochemicznych Ni—Co oraz Ni—Cr w amfibolitach a także Ni—Cr ( $Fe$ —Ni—Cr) w serpentynitach Szklar.

Wyrażną korelację chromu z magnezem w granitach wykryli M. H. Carr i K. K. Turekian (1961). Wykazano także istnienie analogicznej więzi pierwiastków grupy żelaza w skałach zasadowych białowieskiej serii metamorficznej (A. Dziedzic, 1968), w diabazach i lamprofirach Gór Świętokrzyskich (A. Jaworski, 1975-b), a także w zwietrzelinach różnych typów skał magmowych i w glebach Polski południowej (A. Jaworski, 1973). Na prostą zależność korelacyjną  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  i  $Ni^{2+}$  w skałach magmowych Ziemi zwrócił uwagę już w 1923 r. J. H. L. Vogt, tłumacząc wzrost zawartości niklu w skałach zasobnych w oliwin i pirokseny (A. Polański, K. Smulikowski, 1969). Na silniejszy związek niklu z  $Fe^{2+}$  niż  $Mg^{2+}$  w skałach magmowych Ziemi wskazuje A. E. Ringwood (1955), J. L. Snyder (1959) oraz A. Edelsztejn (1960). Jedynie więź korelacyjna triady Fe—Zn—Pb wykryta w materii Księżyca (A. Jaworski, 1976) nie została jak dotąd stwierdzona w skałach magmowych Ziemi.

W skałach magmowych Księżyca i Ziemi badane pierwiastki śladowe charakteryzują się na ogół lognormalnym typem rozkładu częstości.

## WNIOSKI

Przedstawione wyniki statystycznych badań pierwiastków śladowych w materii księżycowej oraz w skałach ziemskich wskazują na podobieństwo geochemiczne materii tych planet, mimo pewnych różnic w ilościowych zawartościach badanych mikroskładników w tych samych typach skał Księżyca i Ziemi. Wynika to zarówno z wyliczenia współczynników korelacji omawianych pierwiastków, które tworzą podobne asocjacje geochemiczne w badanych środowiskach geochemicznych Księżyca i Ziemi, oraz z identycznych na ogół typów rozkładów częstości badanych metali. Przedstawione dane mogą stanowić argument geochemiczny potwierdzający hipotezę o jednorodności materii w obrębie naszej galaktyki, mogą też być traktowane jako jeden z dowodów na rzecz hipotezy ziemskiego pochodzenia Księżyca.

## PIŚMIENNICTWO

- CARR M. H., TUREKIAN K. K. (1961) — The Geochemistry of Cobalt. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **23**, p. 9—60. London.
- DZIEDZIC A. (1968) — Badania geochemiczne metamorfiku białowieskiego. *Kwart. geol.*, **12**, p. 469—487, nr 3. Warszawa.
- JAWORSKI A. (1972) — Interpretacja statystyczna w zastosowaniu do badań geochemicznych. *Kwart. geol.*, **16**, p. 384—404, nr 2. Warszawa.
- JAWORSKI A. (1973) — Geochemia pierwiastków grupy żelaza w strefie wietrze-  
nia skał ultrazasadowych i zasadowych Polski południowej i południowo-za-  
chodniej. *Biul. Inst. Geol.*, **267**, p. 115—224. Warszawa.
- JAWORSKI A. (1975a) — Analiza korelacyjna w petrofizyce. *Tech. Poszuk.*, p. 3—7,  
nr 4. Warszawa.
- JAWORSKI A. (1975b) — Z geochemii i petrofizyki intruzji magmowych Gór  
Świętokrzyskich. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **45**, p. 255—267, nr 2. Kraków.
- JAWORSKI A. (1976) — Wstępne dane o asocjacjach geochemicznych pierwiast-  
ków grupy żelaza w skałach księżycowych i ziemskich. *Biul. Inf. Przeds.  
Poszuk. Geof. ZBG, Geofizyka*, **2**, p. 68 — 77. Warszawa.
- NAREBSKI W. (1966) — Geochemia pierwiastków grupy żelaza w amfibolitach  
formacji Hecla-Hoek Ziemi Wedel Jalsberga (Spitsbergen Zachodni). *Arch.  
miner.*, **26**, p. 167—214, nr 1/2. Warszawa.
- POLAŃSKI A., SMULIKOWSKI K. (1969) — Geochemia. *Wyd. Geol. Warszawa.*
- RINGWOOD A. E. (1955) — The Principles Governing Trace Elements Behaviour  
During Magnetic Crystallization. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **7**, p. 242—254.  
London.
- SNYDER J. L. (1959) — Distribution of Certain Elements in the Duluch Complex,  
*Geochim. Cosmochim. Acta*, **16**, p. 243—277, nr 4. London.
- SZPILA K. (1967) — Geochemia wanadu i chromu w sudeckich skałach magmo-  
wych. *Arch. miner.*, **27**, p. 19—111, z. 2. Warszawa.
- TUREKIAN K. K., WEDEPOHL K. H. (1961) — Distribution of the Elements in  
Some Major Units of the Earth's Crust. *Bull. Geol. Soc. America*, **72**, p. 175—  
191, nr 2.
- ЦИМБАЛЬНИКОВА А., ПАЛИВЦОВА Т., МАШТАЛКА А. (1975) — Химический состав  
фрагментов кристаллических пород и образцов реголита „Луны-16” и „Луны-20”.  
*Космохимия Луны и планет*, стр. 156—166. Ред. А. В. Виноградова. Изд. Наука.  
Москва.
- СЕРЫХ В. (1964) — К геохимии никеля. *Геохимия*, № 9, стр. 898—908. Москва.
- ЭДЕЛЬШТАЙН А. (1960) — К геохимии никеля. *Геохимия*, № 7, стр. 601—609. Москва.

Анджеј ЯВОРСКИ

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА  
В УЛЬТРАМАФИТОВЫХ ПОРОДАХ И БАЗАЛЬТАХ ЛУНЫ**

Резюме

В статье приведены результаты изучения геохимических ассоциаций элементов группы железа Mg, Ba и Sr в ультрамафитовых породах и базальтах Луны, доставленных на Землю космическими станциями Луна 16 и 20. В данной работе учтены также результаты аналогич-

чных статистических исследований по образцам различных пород, доставленных Аполлонами (А. Яворски, 1976). В изученных образцах пород установлено наличие похожих ассоциаций элементов группы железа, характеризующихся прямыми связями линейной корреляции различной степени достоверности. Самая тесная корреляционная связь между Fe и Mg, Cr, V, Mn наблюдается в ультрамафитовых породах Луны.

В базальтах наличие этих ассоциаций установлено с меньшей степенью уверенности. В этих породах прямая корреляционная связь Fe-Mg, Fe-Cr и V-Cr не была обнаружена. Установлено, что корреляционные связи элементов, а также типы распределения изученных металлов такие же как в земных породах.

Результаты исследований являются геохимическим доказательством гипотезы о однородности материи во вселенной (а может быть только в пределах нашей Галактики), а также свидетельством возможности земного происхождения Луны.

---

Andrzej JAWORSKI

#### **GEOCHEMICAL ASSOCIATIONS OF ELEMENTS OF IRON GROUP IN ULTRAMAFIC AND BASALT ROCKS FROM MOON**

##### **S u m m a r y**

The paper presents the results of studies of geochemical associations of elements of the iron group and Mg, Ba and Sr in ultramafic and basalt rocks sampled on the Moon by Luna 16 and 20 spacecrafts. The results of analogical statistic studies of various rock samples brought by Apollo spacecrafts (A. Jaworski, 1976) were taken into account. In these rocks were found similar associations of iron group elements characterized by simple relations of linear correlation at varying confidence levels. The strongest correlations between Fe and Mg, Cr, V, and Mn were found in ultramafic rocks from Moon. The associations traced in basalts are less probable. No simple correlations Fe-Mg, Fe-Cr and V-Cr were found in these rocks. The correlations traced between these elements and the types of distribution of the studied metals are similar to those found on the Earth.

The results of these studies represent a geochemical evidence supporting the hypothesis of uniformity of the matter in the Universe or in our Galaxy only, and not in contradiction with Earth origin of the Moon.