

# ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ И РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЛУННОМ ГРУНТЕ ИЗ МОРЯ СПОКОЙСТВИЯ И ОКЕАНА БУРЬ

*В работе обсуждаются методические и аналитические возможности, связанные с использованием искровой масс-спектрометрии и рентгеновской спектроскопии для определения элементарного состава образцов лунного реголита, доставленных на Землю «Аполлоном-11» и «Аполлоном-12». С помощью рентгеноспектрального метода были определены основные составляющие проб лунного грунта, а масс-спектрометрически — примесные. Главное отличие образцов «Аполлона-11» от образцов «Аполлона-12» было обнаружено по элементам, содержащимся в микроконцентрациях. Особенно это относится к редкоземельным элементам.*

Методами первичного рентгеноспектрального анализа и искровой масс-спектрометрии были исследованы четыре пробы реголита из колонок лунного грунта, доставленных экспедициями «Аполлон-11» из Моря Спокойствия и «Аполлон-12» из Океана Бурь.

Образцы 10005,34 и 10005,35 представляют собой мелкозернистый реголит, отобранный с глубины 1,5 см и 11 см соответственно. Образец 12028,223 — также мелкозернистый реголит, взятый с глубины 32—33 см. Проба 12028,228 отобрана из крупнозернистого слоя с глубины 13—14,5 см и состоит из крупного обломочного материала.

Количественный анализ основных компонентов проводился на первичном рентгеновском анализаторе типа JРХ-3 (фирма JEOL, Япония) с плоским кристаллом. Легкие элементы (Na, Mg, Al, Si, P и S) анализировались с помощью кристалла КАР при напряжении 15 кВ и токе 10 мА, тяжелые (K, Ca, Ti, Sr, Mn и Fe) — с кристаллом LiF при 30 кВ и 10 мА. Время набора информации 40 сек. Фон учитывался обычным порядком. Экспериментальный дрейф не превышал 1%.

Подготовка образца для анализа заключалась в измельчении его до крупности < 10 мкм,

распределении навески (10—15 мг) в алюминиевом тигле и запрессовке до плотного состояния. Полученная таблетка имела площадь около 30 мм<sup>2</sup> (Ø6 мм) и для рентгеноспектрального анализа напылялась в вакууме тонким слоем углерода. Таким же образом подготавливались и исследовались эталонные стандарты W-1, JB-1 и BCR-1. После рентгеноспектрального анализа неразрушенный образец поступал на масс-спектральное исследование. В результате одна и та же проба анализировалась двумя различными методами.

Масс-спектральный анализ проводился на приборе МХ-3301. Специально для исследования непроводящих геологических объектов была разработана новая методика [1], позволяющая проводить определения на масс-спектрометре с искровым ионным источником без применения проводящих добавок.

Сущность метода заключается в высоковольтном высокочастотном пробое тонкого слоя

Т а б л и ц а 1. Результаты рентгеноспектрального анализа реголита (в вес.%)

Компонент	10005,34	10005,35	12028,233	12028,228
SiO <sub>2</sub>	41,0	40,1	44,1	42,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,35	12,15	11,20	4,90
FeO	16,95	17,40	16,45	21,75
CaO	13,10	13,33	11,66	8,64
MgO	8,48	8,20	11,60	20,05
TiO <sub>2</sub>	7,26	7,49	2,83	1,57
Na <sub>2</sub> O	0,27	0,32	0,33	0,14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,25	0,25	0,31	0,83
MnO	0,22	0,22	0,22	0,32
S	0,21	0,24	0,17	0,05
K <sub>2</sub> O	0,15	0,16	0,29	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,16	0,27	0,04

диэлектрика посредством поля напряженностью  $\sim 10^7$  в/см, сконцентрированного на зонде. Расход пробы при таком методе анализа 1,5—2 мг, число одновременно определяемых элементов — до 75.

Результаты рентгеноспектрального анализа четырех образцов реголита приводятся в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что реголит из Моря Спокойствия хорошо перемешан на глубину, состав его практически одинаков и отличается от состава мелкой фракции реголита из Океана Бурь значительно более высоким содержанием окиси титана и несколько пониженным — окисей магния и кремния. Для грубого материала колонки из Океана Бурь характерно высокое со-

держание окисей железа и магния и низкое — окисей алюминия и кальция.

Из табл. 2 можно видеть, что реголит из Моря Спокойствия по сравнению с мелкой фракцией из Океана Бурь значительно обеднен цирконием и цезием, но обогащен платиной, таллием, вольфрамом, стронцием.

В заключение следует отметить, что проведенный анализ на порообразующие и редкие элементы реголитов из различных частей колонки и разных районов показывает большое разнообразие в составах и делает затруднительным какие-либо определенные выводы. Очевидно, для этой цели необходимо гораздо более значительное число определений.

Т а б л и ц а 2. Результаты масс-спектрального анализа реголита (в ч.н.млн.)

Элемент	10005,34	10005,35	12028,233	12028,228	Элемент	10005,34	10005,35	12028,233	12028,228
V	0,50	0,74	1,12	0,64	Pd	0,060	0,073	0,019	0,008
Th	1,86	3,21	5,36	1,7	Mo	0,432	0,515	0,25	0,145
Bi	0,43	0,845	1,04	0,05	Nb	21,2	30	59,2	1,20
Pb	2,43	2,34	2,09	1,02	Zr	461,5	600	1410	22,6
Te	0,56	1,48	0,1	0,11	Y	168,3	212	115,2	71,4
Hg	0,059	—	0,066	0,097	Sr	252,5	192	68,9	115
Pt	2,19	1,93	0,05	0,015	Se	0,032	0,080	0,398	0,02
Ir	0,69	0,87	0,16	0,26	As	0,268	0,465	1,97	0,25
W	0,268	0,202	0,05	0,03	Ga	5,08	9,4	3,36	5,35
Hf	6,81	8,74	5,9	1,56	Sc	91,6	—	65	—
Cs	0,077	0,096	0,35	0,075	X	0,085	0,088	—	—
Sb	0,94	1,07	0,81	2,0	Ru	1,7	0,305	—	—
Sn	2,54	2,19	1,45	1,61	Rb	2,0	4,97	—	—
In	0,061	0,585	0,052	0,065	Br	0,84	1,60	—	—
Cd	0,315	0,413	0,16	0,024	Ge	1,02	1,01	—	—
Ag	0,155	0,193	0,17	0,025	Zn	27,6	110	—	—
					Cu	88,8	35,63	—	—
					Ni	100,25	150	—	—
					Co	16,65	28,4	—	—

## Литература

1. Чупакин М. С., Поляков А. Л. Метод масс-спектрометрического элементного анализа геологических проб, вещества метеоритов и образцов лунного грунта. — Ж. анал. химии, 1972, 27, вып. 3, 527.