

САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ ИЗ МЕТЕОРИТНОГО КРАТЕРА ЭЛЬГЫГЫТГЫН

Установление в течение последних лет ряда самородных металлов в различных типах пород на Земле [8–10, 12], а также в образцах лунного грунта [3, 13, 15] свидетельствует о важности их изучения для восстановления условий минералообразования. Выделение самородных свинца, олова, цинка и некоторых других металлов определяется существованием восстановительных условий при их образовании.

При изучении метеоритного кратера Эльгыгытгын на Чукотке [5] с целью поисков реликтов метеоритного вещества и возможного установления состава кратерообразующего метеорита в различных точках структуры отбирались шлиховые пробы с исходным весом до 700 кг. В составе тяжелой фракции шлихов, промытых в четырех точках кратера, установлены единичные немагнитные металлические частицы преимущественно шарообразной формы. Они обнаружены в составе рыхлых отложений высоких террас кратерного озера, обогащенных импактным материалом. Во внутренней части кратерной воронки металлические частицы встречаются в составе проб из южной и западной ее частей. Кроме того, частицы были выделены из проб, отобранных из отложений высоких террас ключей, стекающих с коренного вала кратера в юго-западном направлении. Импактный материал в изучавшихся отложениях представлен обломками пористых импактитов, стекловатыми бомбами, а также вулканогенными породами высоких ступеней ударного метаморфизма, представленных пузырчатými и пористыми вулканитами, претерпевшими селективное плавление [4, 5]. Породы низких ступеней ударного метаморфизма распространены в подчиненном количестве. Импактиты и ударно-метаморфизованные породы составляют до 70% исследовавшегося материала. Металлические частицы выделены из немагнитной фракции шлихов с плотностью выше 4,2 г/см³.

Размер частиц колеблется от 0,1 до 0,6 мм. Преобладают частицы правильной шарообразной формы с гладкой поверхностью, не несущей следов механической обработки при транспортировке в составе рыхлых отложений. Реже наблюдаются частицы слабо удлиненной формы с отношением длины к диаметру, равным 1,03–1,05. Одна из частиц имела форму двух сложенных полусфер различного диаметра. Поверхность одной из частиц диаметром 0,5 мм содержала глубокие каверны шарообразной формы с блестящей внутренней поверхностью, которые напоминали вскрытые газовые полости на стекловатых частицах в лунном реголите [2], а также газовые каверны на поверхности частиц иргизитов – импактных стекол из кратера Жаманшин [11]. Установлена одна частица веретенообразной формы струйчатого строения.

Выделены два типа частиц, отличающихся по свойствам и составу. Более распространенными являются шарообразные частицы темно-серого цвета с тусклым металлическим блеском. Частицы мягкие, ковкие, легко раскатываются в тонкие пластинки. В свежих срезах имеют сильный металлический блеск. В отраженном свете неоднородности строения частиц не обнаружены. Рентгенограммы всех проанализированных частиц этого типа идентичны. В табл. 1 приведены межплоскостные расстояния одной из частиц, которые близко соответствуют межплоскостным расстояниям олова (тетрагональная сингония, $a_0 = 0,5831$, $c_0 = 0,3182$ нм) и свинца (кубическая сингония, $a_0 = 0,4951$ нм) [14]. В хорошем соответствии с полученными данными находятся результаты микронзондового анализа. Состав двух проанализированных частиц отвечает смеси олова и свинца с небольшой примесью меди (табл. 2). Распределение олова и свинца в поперечном срезе одной из частиц показывает значительные колебания в содержании указанных элементов. Висмут, кадмий и железо по данным микронзондового анализа в составе частиц не установлены. Рентгенофлюоресцентным методом в составе одной из частиц определены примеси сурьмы, индия, золота и циркония в количестве десятых процента. По составу свинцово-оловянные частицы

Таблица 1

Межплоскостные расстояния свинцово-оловянных частиц

1		2			3		
<i>I</i>	<i>d</i> , нм	<i>I</i>	<i>d</i> , нм	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , нм	<i>hkl</i>
3	0,2902				100	0,2915	200
6	0,2849	100	0,2855	111			
3	0,2780				90	0,2793	101
5	0,2452	50	0,2475				
2	0,2058				34	0,2062	220
4	0,2010				74	0,2017	211
4	0,1746	31	0,1750	220			
3	0,1661				17	0,1659	301
10ш	0,1490	32	0,1493	311	23	0,1484	112
1	0,1451				13	0,1458	400
1	0,1443				20	0,1442	321
1	0,1431	9	0,1429	222			
1	0,1305				15	0,1304	420
1	0,1296				15	0,1292	411
1	0,1238	2	0,1238	400			
4	0,1207				20	0,1205	312
4	0,1137	10	0,1136	331			
2	0,1107	7	0,1107	420			
1	0,1100				13	0,1095	501
1	0,1044				3	0,1043	103
					5	0,1040	332
					2	0,1031	440
1	0,1027				5	0,1025	521
1	0,1011	6	0,1010				
					2	0,0972	600
3	0,0955	5	0,0953	511			
2	0,0931				3	0,0931	303
					13	0,0929	512

Сокращено, далее
еще 5 линий

Сокращено, далее
еще 3 линии

Сокращено, далее
еще 9 линий

Примечание. 1 – металлическая частица из кратера Эльгыгытгын; условия съемки: $\text{CuK}\alpha$ -излучение, $D = 57,3$ мм; 2 свинец по [14]; 3 – олово по [14]. ш – широкая линия.

из кратера Эльгыгытгын близки к металлическим частицам из россыпей на Урале [1], траппов Сибирской платформы [8] и вулканических пород Сихотэ-Алиня [10]. Отличием состава изучавшихся частиц является постоянное присутствие в них меди, а также примеси индия, золота и циркония.

Второй тип металлических частиц представлен шариками серого цвета с матовой, шероховатой поверхностью. Частицы немагнитные, ковкие, также раскатываются в тонкие пластинки. Межплоскостные расстояния частиц этого типа соответствуют межплоскостным расстояниям цинка (гексагональная сингония, $a_0 = 0,2680$ нм, $c_0 = 0,4946$ нм) [7] (табл. 3). По данным микронзондового анализа одной частицы ее состав отвечает цинку с примесью меди и железа (см. табл. 2). Примесь кадмия, висмута, сурьмы и индия не установлена. Цинковая частица характеризуется более постоянным составом по сравнению со свинцово-оловянными частицами. От самородного цинка, описанного в траппах [8], цинк из кратера Эльгыгытгын отличается содержанием меди до 2,5%, а также более высоким содержанием железа, достигающим 1,5%.

Изучение условий образования самородных металлов в различных типах пород

Таблица 2

Состав металлических частиц из кратера Эльгыгытгын

Компонент	1	2	3	Компонент	1	2	3
	\bar{x}_3	\bar{x}_3	\bar{x}_4		\bar{x}_3	\bar{x}_3	\bar{x}
Sn	63,0	67,0	—	Cu	0,3	0,3	2,1
Pb	35,0	30,0	—	Fe	—	—	1,3
Zn	—	—	96,6	Сумма	98,3	97,3	100,0

Примечание. 1, 2 — свинцово-оловянные частицы; 3 — цинковая частица.

Таблица 3

Межплоскостные расстояния цинковых частиц

1			2			1			2		
<i>I</i>	<i>d</i> , нм		<i>I</i>	<i>d</i> , нм	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , нм		<i>I</i>	<i>d</i> , нм	<i>hkl</i>
1	0,2805		2	(0,274)	0002	4	0,1232		4	0,1235	0004
1	0,2578		1	(0,2552)	10 $\bar{1}$ 0	5	0,1170		9	0,1173	2020
5	0,2449		4	0,2473	0002	1	0,1154		3	(0,1154)	2022
3	0,2292		5	0,2311	10 $\bar{1}$ 0	4	0,1121		6	0,1128	2023
8	0,2080		10	0,2092	10 $\bar{1}$ 1	3	0,1089		5	0,1090	10 $\bar{1}$ 4
			3	(0,1858)	10 $\bar{1}$ 2	3	0,1044		5	0,1046	2022
5	0,1678		8	0,1683	10 $\bar{1}$ 2				2	(0,1017)	10 $\bar{1}$ 5
3	0,1467		5	(0,1476)	11 $\bar{2}$ 0	5	0,0945				
1	0,1377		1	0,1357	10 $\bar{1}$ 3	7	0,0908				
10	0,1337		9	0,1339	11 $\bar{2}$ 0	3	0,0859				
			3	(0,1297)	2020	2	0,0844				
						3	0,0835				

Примечание. 1 — цинковая частица из кратера Эльгыгытгын; условия съемки: CuK α -излучение, $D=57,3$ мм; 2 — цинк по [7].

свидетельствует об их выделении в высокотемпературных восстановительных условиях, которые наиболее часто реализуются в импактном процессе или при магматическом минералообразовании. Большая роль фракционирования ряда микроэлементов при процессах испарения—конденсации силикатных пород доказана в экспериментах [6, 15 и др.]. При образовании метеоритных кратеров процессы испарения и генерации высокотемпературных расплавов играют большую роль. В этих условиях легко подвижными элементами, испытывающими селективное испарение и конденсацию, являются цинк, свинец, щелочные металлы и некоторые другие элементы [5, 6, 15]. Потери импактным расплавом свинца вследствие селективного испарения установлены на примере Болтышского кратера в результате сравнения содержания его в составе ударного расплава и пород мишени. На этом основании образование цинковых и свинцово-оловянных частиц в кратере Эльгыгытгын представляется наиболее вероятным в результате конденсации из высокотемпературной газовой фазы. Признаками происхождения частиц вследствие конденсации могут служить их правильная шарообразная форма, следы кипения расплава в виде вскрытых каверн на их поверхности, а также особенности состава, отличающие их от самородных металлов магматического происхождения.

Установление самородных металлов в кратере Эльгыгытгын — первая находка подобных образований в структурах метеоритного происхождения, которая расширяет представления об особенностях импактного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.И. О самородном олове в аллювиальных россыпях р. Ис (Средний Урал) // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1955. Ч. 84, вып. 4. С. 462–464.
2. Атлас микрофотографий поверхности частиц лунного реголита. Прага: Академия. 1979. 76 с.
3. Ашихмина Н.А., Диков Ю.П., Степанчиков В.А., Фрих-Хар Д.И. Исследование частички лунного самородного алюминия // Докл. АН СССР. 1981. Т. 256, № 4. С. 951–954.
4. Гуров Е.П., Гурова Е.П. Стадии ударного метаморфизма вулканогенных пород кислого состава (на примере метеоритного кратера Эльгыгытгын, Чукотка) // Докл. АН СССР. 1979. Т. 249, № 5. С. 1197–1201.
5. Гуров Е.П., Гурова Е.П. Геологическое строение и ударный метаморфизм вулканогенных пород метеоритного кратера Эльгыгытгын: Препринт № 81-4. Киев: Ин-т геол. наук, 1981. 60 с.
6. Маркова О.М., Яковлев О.И., Колесов Г.М. Фракционирование микроэлементов в процессе испарения-конденсации: экспериментальные исследования // Тезисы докладов XVIII Всесоюзной метеоритной конференции. М.: Изд-во АН СССР, 1981. С. 9–10.
7. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 868 с.
8. Округин А.В., Олейников Б.В., Заякина Н.В., Лескова Н.В. Самородные металлы в траппах Сибирской платформы // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1981. Ч. 110, вып. 2. С. 186–204.
9. Филимонова Л.Г., Горшков А.И., Корина Е.А., Трубкин Н.В. О находке самородных металлов в вулканитах Южного Сихотэ-Алиня // Докл. АН СССР. 1981. Т. 256, № 4. С. 962–965.
10. Филимонова Л.Г., Горшков А.И. и др. О самородных металлах и муассоните в калиевых риолитах Богопольской свиты Южного Сихотэ-Алиня // Докл. АН СССР. 1981. Т. 256, № 5. С. 1217–1220.
11. Флоренский П.В., Дабига А.И. Метеоритный кратер Жаманшин. М.: Наука, 1980. 127 с.
12. Франк-Каменецкий В.А. Вопросы самородного минералообразования // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1982. Ч. 111, вып. 2. С. 263–264.
13. Фрондель Дж. Минералогия Луны. М.: Мир. 1978. 334 с.
14. ASTM. Powder diffraction File. Search Manual (Hanawalt Method). Inorganic. USA, Joint committee on powder diffraction standards, 1973. Cards 4-0673, 4-0686, 4-0831.
15. Cirlin E.H., Housley R.M. Behaviour of volatiles during regolith evolution // Meteoritics. 1980. Vol. 15, N 1. P. 273.

УДК 549.755.35.01

И.Г. ЖИЛЬЦОВА, Л.И. ПОЛУПАНОВА, Е.М. ШМАРИОВИЧ, С.А. ПЕРЛИНА

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИРИГИНИТЕ

В стандартных условиях методом растворимости определена величина произведения растворимости иригинита $UO_2(NMoO_4)_2 \cdot 3H_2O$ $10^{-21,60 \pm 0,05}$ и свободная энергия Гиббса его образования $-837,70 \pm 0,07$ ккал/моль. Показано, что иригинит возникает в кислой среде, и область наибольшей устойчивости этого минерала отвечает диапазону pH 1,5–5,0 [11].

Водный уранилмолибдат – иригинит – обычный минерал зоны окисления гидротермальных уран-молибденовых месторождений, содержащих настуран, колломорфный пирит и легко окисляемые дисульфиды Мо – иордизит или фемолит [1, 10, 12]. Г.Ю. Эпштейн, впервые обнаружившая иригинит в 1951 г. [14], представила его как водную молибденовокислую соль уранила $H_2(UO_2)(MoO_4)_2 \cdot 3H_2O$, Ю.В. Казищев [5] – как водную соль молибденовой кислоты, содержащую гидроксил и U^{VI} . Работами одного из авторов настоящей статьи, выполненными совместно с рядом других исследователей, был осуществлен синтез данного минерала, описываемого формулой $UO_2(NMoO_4)_2 \cdot 3H_2O$, и установлена его моноклиническая сингония. А.А. Черниковым [12] предложено рассматривать иригинит как водный уранилмолибдат, содержащий оксоний, – $(H_3O)_2(UO_2)(MoO_4) \cdot H_2O$, однако, с точки зрения кристаллической структуры минерала [9], более оправданна формула $UO_2(NMoO_4)_2 \cdot 3H_2O$.

Иригинит, близкий по параметрам к природному, был синтезирован нами двумя