

УДК 523.34

**МИКРОЧАСТИЦЫ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ  
В ЛУННОМ РЕГОЛИТЕ ИЗ МОРЯ ИЗОБИЛИЯ:  
(Cu,Au,Ag)<sub>4</sub>Zn, Ag, Au, Sn, Pb, Sb, Re, MoS<sub>2</sub>, CdS, AuS, RhI<sub>3</sub>**

© 2004 г. Академик О. А. Богатилов, А. В. Мохов, П. М. Карташов, А. И. Горшков,  
Л. О. Магазина, Н. А. Ашихмина, Е. В. Копорулина

Поступило 06.01.2004 г.

Отсутствие свежего минерального материала с Луны привело к некоторому снижению интереса к вопросам минералогии ближайшего земного соседа. Однако возврат к аппаратурным исследованиям лунного грунта, доставленного более 20 лет назад советскими автоматическими лунными станциями (АС) “Луна-16”, “Луна-20” и “Луна-24”, с использованием новых поколений аналитических приборов показал, что и старый материал таит в себе еще много интересной информации, позволяя обнаруживать минеральные фазы, не описанные в обобщающем справочнике Д. Фрондел [1]. Особенно результативными оказались поиски в лунном реголите тонкодисперсных фаз рудных минералов. Методика прямого их поиска [2] в насыпанной на углеродный скотч самой тонкой гранулометрической фракции в режиме отраженных электронов в аналитических сканирующих микроскопах JSM-5300 и JSM-5610LV (JEOL, Япония) позволила эффективно находить и диагностировать частицы минералов размером от 100 нм. Важным следствием простоты препарирования явилось снижение вероятности загрязнения образца артефактами на этом этапе, что чрезвычайно важно для изучения лунного грунта, особенно столь мелкого. Общий вид препарата демонстрирует рис. 1а. Все мелкие яркие точки на этих снимках – самородное железо, количество которого в тонкой фракции значительно. Среди его зерен изредка попадаются частицы других рудных минералов, диагностика которых прово-

дится на основе качественного и количественного анализов элементного состава с помощью установленных на сканирующих микроскопах энергодисперсионных рентгеновских спектрометров (ЭДС) фирмы “Oxford Instruments” (Великобритания). Таким образом нами в последнее время уже обнаружено свыше двух десятков различных микро- и наноразмерных выделений рудных минералов [3–8], зачастую не существующих в макроформах и не имеющих земных аналогов.

В настоящем сообщении описано еще несколько самородных металлов, сплавов и сульфидов, диагностированных в очередной пробе реголита из Моря Изобилия, доставленного АС “Луна-16”. При этом на всех ЭДС-спектрах присутствующие пики углерода и кислорода, очевидно, вызваны флуоресценцией органического материала углеродного скотча-подложки.

**Золото-цинксодержащая медь.** Частица сплава Cu–Zn–Au–Ag обобщенного состава (Cu, Au, Ag)<sub>4</sub>Zn ранее обнаружена в предыдущей пробе реголита АС “Луна-16” [2]. Состав двух частиц размером 1 и 2 мкм, найденных в исследуемой пробе, практически ей идентичен. Изменение интенсивностей пиков Cu и Au в легкой части спектров вызвано неправильной формой частиц, и поэтому для количественного анализа использовали более стабильные линии CuK<sub>α</sub> и AuL<sub>α</sub>.

Таблица 1

№ анализа	Cu	Zn	Au	Ag	Формула
1 [2]	36.83	16.03	35.12	12.02	(Cu <sub>2.6</sub> Au <sub>0.8</sub> Ag <sub>0.5</sub> ) <sub>3.9</sub> Zn <sub>1.1</sub>
2	38.76	13.42	36.29	11.53	(Cu <sub>2.76</sub> Au <sub>0.83</sub> Ag <sub>0.48</sub> ) <sub>4.07</sub> Zn <sub>0.93</sub>
3	38.69	14.21	38.72	8.38	(Cu <sub>2.77</sub> Au <sub>0.89</sub> Ag <sub>0.35</sub> ) <sub>4.01</sub> Zn <sub>0.99</sub>

ита (куб. CdS) оседают на поверхности растворяемого сфалерита и отличаются высокой чистотой в отношении примесей цинка и железа. Напротив, гринокит, образующийся при высоких температурах из вулканических газов, характеризуется темной окраской, повышенным содержанием Fe, In и особенно Zn. [10]. Цинк содержащий гринокит, встреченный в реголите из Моря Изобилия, так же как и кадмийсодержащий вюртцит, найденный в пробе из Моря Кризисов [4], весьма напоминает минерализацию рудных фумарол вулкана Кудрявый, где оба минерала часто встречаются в ассоциации с молибденитом и природным сульфидом рения.

Сульфид золота AuS не известен среди земных минеральных ассоциаций, однако был неоднократно синтезирован.

Иодид родия  $RhI_3$  также ранее в земных условиях не обнаружен. Однако иодиды других платиновых в микроколичествах отмечены на месторождении Кондёр, кроме того, в эксгалатах вулкана Кудрявый отмечалось присутствие иодида германия  $GeI_4$ . Таким образом, и  $RhI_3$  можно с большой долей уверенности отнести к продуктам лунного эксгалативного вулканизма.

Обращает на себя внимание факт наличия удивительно большого количества микрочастиц самородных металлов и сплавов в столь малых объемах изучаемых проб. При этом рядом фиксируются как тугоплавкие Mo и Re, так и легкоплавкие Pb, Sn, Sb. Микровыделения одних металлов, например молибдена и рения, обнаружены на расстоянии в сотни километров друг от друга. А молибден зафиксирован как в морском грунте ("Луна-16" – Море Изобилия и "Луна-24" – Море Кризисов), так и в материковом – "Луна-20". Одним из возможных объяснений этого может служить низкотемпературное их отложение из потока газов. В насыщенных тяжелыми элементами высокотемпературных магматогенных газовых потоках в результате шокового сброса давления и температуры при их прорыве на поверхность могут образовываться моноэлементные нанокластеры металлов. Обладая значительной поверхностной энергией, они способны соединяться с себе подобными или со структурно схожими кластерами. Таким образом, в интерстициях и трещинах пород на поверхности Луны в условиях, близких к

космическому вакууму, предположительно может осуществляться непосредственный рост субмикронных индивидов самородных металлов и сплавов из газовой фазы. Подобный механизм описывается Асхабовым с соавторами [11]. Наряду с традиционными для Луны магматическим и импактным процессами подобная низкотемпературная быстротекущая аккреция обеспечивает возможность многократного повторения процесса при иных параметрах и составе исходного газа и может служить причиной образования большого количества разнообразных металлов и сплавов в виде микро- и наноразмерных индивидов.

Другим удивительным фактом, обращающим на себя внимание, является полное отсутствие, несмотря на большой объем просмотренного материала, минералов платины и палладия, часто встречающихся на Земле среди тонкодисперсных рудных минералов пород раннего этапа развития Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 03-05-64982, 02-05-64952) и гранта Минпромнауки РФ (госконтракт № 43.043.11.1607).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрондел Дж. Минералогия Луны. М.: Мир, 1978. 333 с.
2. Мохов А.В., Богатиков О.А., Горшков А.И. и др. Тез. XRD&CCM-15. СПб., 2003. С. 362.
3. Богатиков О.А., Мохов А.В., Горшков А.И. и др. // ДАН. 2002. Т. 386. № 3. С. 368–371.
4. Богатиков О.А., Горшков А.И., Мохов А.В. и др. // ДАН. 2002. Т. 382. № 3. С. 371–373.
5. Богатиков О.А., Горшков А.И., Мохов А.В. и др. // ДАН. 2001. Т. 379. № 4. С. 524–527.
6. Богатиков О.А., Горшков А.И., Мохов А.В. и др. // ДАН. 2001. Т. 378. № 2. С. 230–232.
7. Богатиков О.А., Горшков А.И., Мохов А.В. и др. // Геохимия. 2001. № 6. С. 665–670.
8. Богатиков О.А., Мохов А.В., Горшков А.И. и др. Тез. X НКРК. М., 2002. С. 60.
9. Минералы. Справочник / Под ред. Ф.В. Чухрова. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. С. 85–87.
10. Магазина Л.О., Самоуин Н.Д., Знаменский В.С. // ДАН. 1996. Т. 348. № 2. С. 228–231.
11. Асхабов А.М., Рязанов М.А. // ДАН. 1998. Т. 362. № 5. С. 630–633.