

УДК 523.34

ВЫСОКОПРОБНОЕ Au, ТВЕРДЫЙ РАСТВОР Cu–Zn–Au–Ag И САМОРОДНЫЙ Mo В РЕГОЛИТЕ АС “ЛУНА-16”

© 2002 г. Академик О. А. Богатиков, А. В. Мохов, А. И. Горшков, Н. А. Ашихмина, Л. О. Магазина, П. М. Карташов, Е. В. Копорулина

Поступило 30.05.2002 г.

На сегодняшний день на Луне установлен большой набор самородных металлов и твердых растворов, представленных, как правило, редкими малоразмерными включениями в силикатах и стеклах во всех типах лунных пород. Основными из них являются самородное железо, твердые растворы и интерметаллиды в системах Cr–Fe–Ni и Cu–Zn. Кроме них обнаружены Sn, Zn, Re, Mo, Ce в виде металлов и сульфиды Ag и Cd. В ассоциациях с ними находились оливины, пироксены, плагиоклазы и стекла [1–3]. Все эти находки, чрезвычайно важные для уточнения генетических и космогонических представлений, делают перспективными дальнейшие поиски самородных металлов и рудных минералов в лунном грунте.

В ходе продолжающихся исследований из пробы реголита, доставленного АС “Луна-16”, под световым микроскопом были отобраны фрагменты мелкозернистых базальтов, состоящие из клинопироксена, плагиоклаза и ильменита. В меньших количествах присутствовали оливин и стекло (номер образца “Л 1609-4” из фракции 200–450 мкм с глубины 20–28 см). Отобранные фрагменты изучены на сканирующем электронном микроскопе JSM-5300 (Япония), оснащенный энергодисперсионным спектрометром “Link-ISIS” (Великобритания). Для диагностики минеральных фаз использованы качественный и количественный анализ их химического состава, а также изображения, полученные как в отраженных электронах, так и в характеристическом излучении различных элементов. В результате такого исследования впервые в реголите “Луны-16” удалось обнаружить и диагностировать микронные частицы самородного золота, твердого раствора меди, цинка, золота и серебра ($\text{Cu}_{53}\text{Zn}_{21}\text{Au}_{16}\text{Ag}_{10}$), а также зафиксировать агрегат самородного молибдена, выявленного ранее лишь в реголите, доставленном АС “Луна-24” из Моря Кризисов [2].

Следует отметить, что при проведении энергодисперсионного анализа рудных минералов на спектрах часто фиксировались не только пики характеризующих их элементов, но и более слабые пики вмещающей эти минералы породы (матрицы). В этих случаях проводился количественный анализ состава матрицы вблизи анализируемого рудного минерала и полученные данные вычитались из данных количественного анализа суммарного состава. Кроме того, входение элементов в анализируемую частицу устанавливалось по изображениям распределения элементов, полученных в их рентгеновском характеристическом излучении.

Высокопробное золото представлено двумя удлинёнными частицами (~1 и 1.5 мкм в длину), не имеющими определенных кристаллографических очертаний (рис. 1а). Полученные от этих частиц рентгеновские энергодисперсионные спектры содержали интенсивные характеристические пики золота. Кроме них фиксировались значительно меньшие по интенсивности пики Si, K, Ca, Mg и Fe (рис. 1б). Пики этих же элементов наблюдались на спектрах, полученных от матрицы в близко расположенных к частицам золота точках. Количественный анализ состава матрицы позволил установить, что микрочастицы золота включены в высококальциевое силикатное стекло. Анализ состава частиц золота показал отсутствие в них значимых количеств примесей, в том числе и таких характерных для Au, как Ag и Cu. При этом содержание золота в этих частицах, определенное после вычитания матричных элементов, не ниже 99.2 мас. %.

Твердый раствор меди, цинка, золота и серебра. Зафиксированы две изометричные частицы данного минерала с размерами ~1 и 1.5 мкм, содержащиеся в двух разных фрагментах реголита. С меньшей из них получены изображение в отраженных электронах, энергодисперсионный спектр и проведен количественный анализ. Энергодисперсионный рентгеновский спектр содержал интенсивные пики Au, Ag, Cu и Zn, а также менее интенсивные O, Al, Si, Ca, Mg, Fe, принадлежащие пироксену (авгиту). Этот факт,

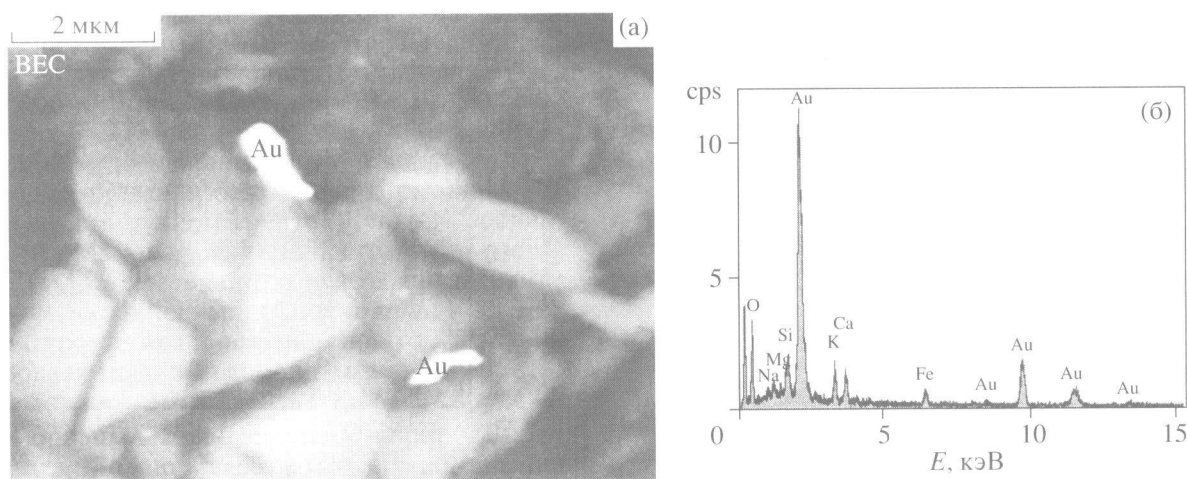


Рис. 1. Изображение в отраженных электронах частиц самородного золота (а) и энергодисперсионный спектр (б) одной из них.

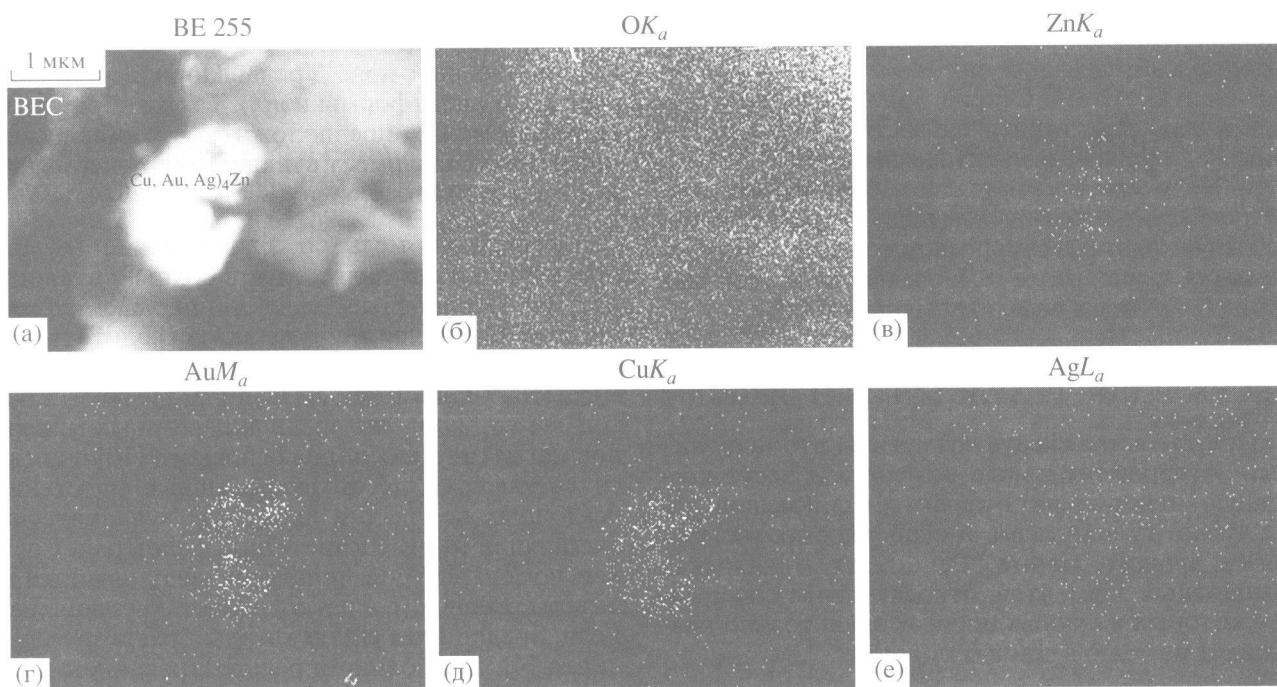


Рис. 2. Изображение в отраженных электронах (а) и в характеристическом излучении O (б), Zn (в), Au (г), Cu (д) и Ag (е) частицы твердого раствора меди, цинка, золота и серебра.

как и в случае с частицами золота, установлен количественным анализом с участков зерен реголита, расположенных в непосредственной близости от частицы минерала. В результате расчета с учетом состава матрицы установлена формула твердого раствора: $Cu_{52}Zn_{22}Au_{16}Ag_{10}$ или $(Cu,Au,Ag)_4Zn$.

С другой частицы минерала получены изображения в отраженных электронах и в характеристическом излучении Au, Cu, Zn, Ag и O. Картины распределения в характеристическом излучении

(рис. 2) подтвердили вхождение в состав минерала только Au, Cu, Zn и Ag и, что особенно важно, отсутствие кислорода. Кроме того, и для этой частицы выполнен количественный анализ, который показал примерно такое же соотношение элементов, как и в меньшей частице. Был проведен количественный состав матрицы и установлено – ею является пироксен (авгит).

Самородный молибден обнаружен в препарате в виде изометричной частицы. Размер ее приблизительно равен 4 мкм в длину и 2 мкм в

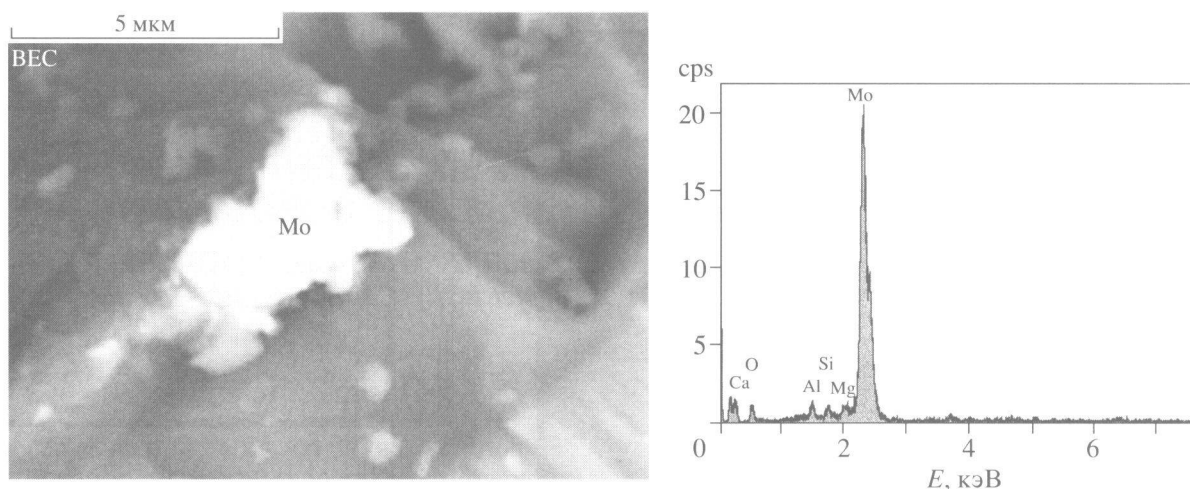


Рис. 3. Изображение в отраженных электронах частицы самородного молибдена (а) и соответствующий ей энергодисперсионный спектр (б).

ширину (рис. 3а). Зафиксированный от этой частицы рентгеновский энергодисперсионный спектр содержал интенсивный пик Мо и слабо выраженные пики О, Al, Si и Ca (рис. 3б). Спектр, полученный в непосредственной близости с частицей молибдена, зафиксировал интенсивные пики О, Al, Si и Ca. Количественным анализом установлено, что матрицей является полевой шпат (анортит), а молибден находится в самородном состоянии. Как отмечалось выше, ранее самородный молибден был нами обнаружен в реголите “Луны-24” [2].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Прежде всего следует отметить, что получаемые экспериментальные результаты несут косвенную информацию о характере флюидной фазы лунного магматизма и особенностях минералогии лунного грунта. Речь идет о находках самородных элементов, относительное содержание которых в лунных породах значительно превышает их долю в земных породах.

Во всех своих природных парагенезисах на Земле самородное золото содержит то или иное количество серебра и является, по сути, представителем золото-серебряных твердых растворов. В отличие от аналогичных искусственных сплавов самородное золото характеризуется неоднородностью состава и строения. Чистое самородное золото с содержаниями Au до 100% встречается на Земле весьма редко [4]. Именно такое высокопробное самородное золото отмечалось нами в рудных эксгалтах базальтов Большого Трещинного извержения Толбачика (БТТИ) [5]. Там оно отлагалось в среднетемпературной ассоциации совместно с безводными сульфатами и хлоридами Cu, Zn и Pb. Более низкопробное самородное золото, часто с примесью меди, неодно-

кратно описано в магматических горных породах ультраосновного и основного составов (Кондер, Платиноносный пояс Урала, Норильск, траппы Сибирской платформы и др.). Таким образом, по аналогии можно предположить, что обнаруженное нами золото имеет вулканогенно-эксгалтивное происхождение.

Самородная медь со значительной ($n-n0\%$) примесью цинка является природным аналогом латуни. Природные медно-цинковые сплавы впервые были описаны в лунном реголите [6]. Затем они обнаружены в золото-кварцевых жилах Южного Урала и Закавказья [7]. Позднее такие сплавы установлены среди акцессорных минералов магматических пород основного [10] и кислого составов, в цеолитизированных туфогенно-осадочных породах, в продуктах вулканических эксгалций [8]. В соответствии с минералогической номенклатурой цинкистая медь является не интерметаллидом, а разновидностью самородной меди, представляя собой твердый раствор меди и цинка [4]. Наибольшим распространением пользуется цинкистая медь состава Cu_3Zn со структурой α -латуни. При этом главными элементами-примесями в медно-цинковых сплавах являются Sn, Pb и Fe. Примеси Au в количестве 0.26 – 1.5% отмечались в образцах с Южного Урала и Армении соответственно [4]. Наряду с бинарными твердыми растворами меди и цинка в природе установлены тройные соединения, содержащие, помимо Cu и Zn, значительные количества Ag [9]. Диапазон изменения содержаний отдельных элементов составляет $Cu_{55.93-19.92}, Ag_{55.61-13.87}, Zn_{28.39-21.72}$ (мас.%). При всех колебаниях состава формула минерала не выходит за рамки метрики $A_3B - (Cu_{1-2.5}Ag_{0.4-1.7})_{2.8-2.9}Zn_{1.1-1.2}$. Обнаруженный нами Cu-Zn-Au-Ag-сплав близок этому соединению, однако заметно обогащен золотом и обеднен цин-

ком – $[Cu_{2.5}(Au, Ag)_{1.5}]_4Zn_1$. Тесная ассоциация обнаруженного нами Cu-Zn-Au-Ag-сплава с авгитом позволяет предположить его первично магматическое происхождение. В базальтовых покровах БГТИ была обнаружена ассоциация самородной меди и сплава Cu_3Zn в продуктах ранней кристаллизации базальтового расплава [10]. Ранее нами в лунном грунте “Луны-24” обнаружены несколько частиц цинкистой меди состава Cu_8Zn [11], а американскими исследователями в породах, доставленных “Аполлоном-11”, в сравнении с троилитом и полевым шпатом отмечены самородная медь и медно-цинковый интерметаллид – чжанхенит $CuZn$ [12].

Самородный молибден ранее в природе не наблюдался. Можно предполагать его образование в ходе импактных процессов. Первичномагматическое или вулканогенно-эксталяционное происхождение самородного молибдена представляется менее вероятным в силу высокой температуры его кристаллизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 00-05-64479).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богати́ков О.А., Горшков А.И., Мохов А.В. и др. // Геохимия. 2001. № 2. С. 230–232.

2. Богати́ков О.А., Горшков А.И., Мохов А.В. и др. // Геохимия. 2001. № 6. С. 665–670.
 3. Богати́ков О.А., Горшков А.И., Мохов А.В. и др. // Геохимия. 2002. № 3. С. 371–373.
 4. Новгоро́дова М.И. Итоги науки и техники. Сер. Кристаллохимия. М.: ВИНТИ, 1994. Т. 29. 153 с.
 5. Вукoва Е.Уи., Berlepsch P., Kartashov P.M. et al. // Sweiz. Miner. und Petr. Mitt. 1989. V. 78. № 6. P. 479–488.
 6. Фрондел Дж. Минералогия Луны. М.: Мир, 1978. 334 с.
 7. Новгоро́дова М.И., Цепин А.И., Дмитриева М.Т. // Зап. ВМО. 1979. Т. 108. В. 2. С. 212–216.
 8. Главатских С.Ф. // ДАН. 1990. Т. 313. № 2. С. 433–437.
 9. Новгоро́дова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983. 287 с.
 10. Панков В.Н., Олейников Б.В. // ДАН. 1983. Т. 270. № 6. С. 1467–1470.
 11. Ашихмина Н.А., Богати́ков О.А., Фрих-Хар Д.И. и др. // ДАН. 1981. Т. 256. № 5. С. 1212–1215.
 12. Gay P., Vancroft G.M., Bown M.G. Proc. of the Apollo XI Lunar Sci. Conf. Houston (Tex): 1970. V. 1. P. 481.
 13. Лунный грунт из Моря Изобилия / Под ред. А.П. Виноградова. М.: Наука, 1974. 624 с.