

СОСТАВ И МОРФОЛОГИЯ ЧАСТИЦ СТЕКЛА В ПРОБЕ РЕГОЛИТА АС «Луна-24»

Т. А. Горностаева

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии
и геохимии (ИГЕМ РАН), г. Москва, avm@igem.ru*

В ходе продолжающихся исследований лунного реголита [Мохов и др., 2007a] с помощью аналитического сканирующего электронного микроскопа JSM-5610LV с EDS-системой INCA-450 была изучена проба, доставленная на Землю АС «Луна-24» из Моря Кризисов, содержащая относительно крупные (1–2 мм) обломки импактного стекла.

Для изучения на сканирующем электронном микроскопе подготовка проб выполнялась следующим образом. На стандартные алюминиевые столики наклеивали двухсторонний электропроводящий скотч для фиксации образца и обеспечения стекания заряда. Остальная поверхность столика во избежание флюоресценции Al покрывалась графитовым клеем. С внешней стороны скотча удаляли защитную пленку, затем обломочные кусочки стекла переносили иглой дикобраза из пробирки на скотч-подложку. Столик с приготовленной пробой закрывали в стерильной чашке Петри и убирали в специальное хранилище до момента исследования на электронном микроскопе. Такой способ подготовки проб в максимальной степени исключал риск заражения проб посторонними фазами.

Изучаемые фрагменты стекол содержали большое количество включений металлов и были небольшими по размерам, что позволило исследовать их в режиме COMPO (Shadow) в отраженных электронах на сканирующем микроскопе. В тех немногих случаях, когда эффект заряда образца проявлялся, микроскоп переводился в низковакуумный режим.

Для определения в составе анализируемой частицы кислорода, регистрировались картины распределения элементов в характеристическом рентгеновском излучении. Так проводилась предварительная диагностика фаз и фиксировалась их взаимосвязь. Количественный анализ осуществлялся на полированных шлифах и на отдельных частицах.

Найдены несколько крупных (1–2 мм) частиц стекла обломочной формы в реголите, извлеченном из самой глубокой (1.84–1.89 м) части ядра, доставленного на Землю автоматической станцией «Луна-24». Стекла красивого чайного цвета с различной интенсивностью окраски крайне неоднородны. Одну из трех частиц такого стекла, наиболее прочную, удалось отполировать (рис. 1). На снимке в отраженных электронах хорошо видна ее негомогенность. Мелкие яркие включения по результатам количественного расчета с учетом состава стекла диагностированы как ульвошпинель Fe_2TiO_4 и троилит FeS. Силикат в периферической зоне частицы диагностирован как авгит.

Составы стекла в указанных точках на рисунке 1 приведен в таблице 1.

Таблица 1

Составы стекла в указанных точках рис. 1, мас. %

Оксид Точка	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	FeO	Σ
1	8.9 ± 0.2	1.4 ± 0.1	50.5 ± 0.3	8.8 ± 0.1	0.6 ± 0.1	29.2 ± 0.3	99.4
2	7.9 ± 0.1	1.1 ± 0.3	51.7 ± 0.2	9.3 ± 0.1	0.8 ± 0.1	28.4 ± 0.3	99.2
3	12.8 ± 0.2	1.5 ± 0.1	53.4 ± 0.3	16.9 ± 0.2	0.5 ± 0.1	14.7 ± 0.2	99.8
4	14.3 ± 0.2	1.6 ± 0.1	53.1 ± 0.3	16.3 ± 0.2	0.2 ± 0.1	14.6 ± 0.2	100.1

Местами на контакте частицы с эпоксидной смолой видны фрагменты срезанной при полировке молибденовой пленки. На сколе одной из таких стеклянных частиц выявлено большое количество минеральных фаз, в том числе металлов (рис. 2), в большинстве случаев тесно связанных со стеклянной матрицей. Все частицы стекла изучаемой

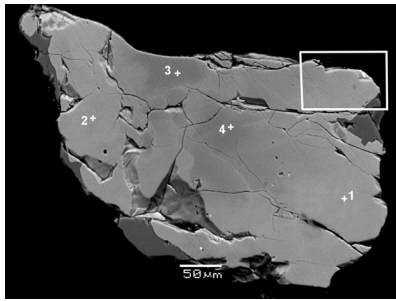


Рис. 1. Полированный срез стекла G1. Во врезке участок с молибденовой пленкой.

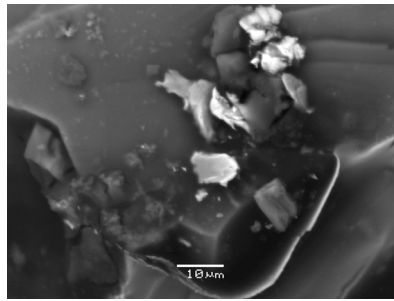


Рис. 2. Скол частицы стекла в отраженных электронах.

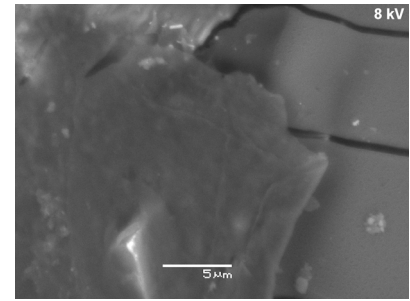


Рис. 3. Фрагмент стекла G1 с наплавным стеклом G2.

пробы местами покрыты пленкой самородного молибдена, зафиксированной на неповрежденных сколами участках их поверхности (рис. 1–3). В большинстве случаев поверх пленки металлического молибдена наблюдается пленка углеродистого вещества. Впервые о молибденовой и высокоуглеродистой пленках сообщалось в [Мохов и др., 2007б].

По результатам количественного анализа с учетом усреднения стекла можно разделить два типа (табл. 2). В стеклах первого типа (с меткой «G1») содержания натрия и калия лежат ниже пределов обнаружения, а также высокие содержания кремния. Стекла второго типа – высокремниевые (с меткой «G2») всегда обнаруживаются в виде относительно небольших неправильной формы наплавов на основное стекло первого типа (рис. 3).

Таблица 2

Пределы колебаний составов стекла, мас. %

Оксид Стекло	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO
G1	–	7–15	1–12	48–56	–	7–17	<1	14–33
G2	5–9	< 1	4–6	78–84	5–7	< 1	–	< 2

По данным работы [Delano, 1986] отличить первичномагматические лунные стекла от импактных стекол можно по пяти признакам. По четырем из этих признаков (наличию включений, внутренней неоднородности частиц, гомогенности составов выборки частиц, Mg/Al отношению) изученная нами ассоциация стекол обоих типов является, несомненно, импактной. Пятый критерий (отношение содержаний Ni и Mg) не мог быть применен из-за недостаточной чувствительности использованной нами аппаратуры. Однако и без этих данных вполне ясно, что обсуждаемое стекло является продуктом импактного плавления.

Высокремниевое стекло G2 по данным количественного анализа, а также учитывая наплавной характер его выделений можно отнести к конденсатному типу.

На основании морфологических особенностей рассмотренных стекол и минеральных фаз можно предположить, что изученные образцы испытали как минимум три акта импактного воздействия.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ №№ 09-05-00585, 08-05-00786 и программы ОНЗ-5.

Литература

Мохов А. В., Карташов П. М., Богатиков О. А. Луна под микроскопом. Новые данные по минералогии Луны. М.: Наука, 2007(а). С. 128.

Мохов А. В., Карташов П. М., Богатиков О. А., Магазина Л. О., Ашихмина Н. А., Копорулина Е. В. Ассоциация высокоуглеродистого вещества и самородного молибдена в лунном реголите из Моря Кризисов // Докл.АН. 2007(б). Т. 415. № 5. С. 1–4.

Delano J. W. Pristine Lunar glasses: criteria, data and implications // Proceedings of XVI Lunar and Planetary Science Conference. Pt. 2 Journal of Geophysical Research. 1986. V. 91. № B4. P. D201–D213.