

УДК 666.117.9:552.6

Е.С. Сергиенко, доц., канд. физ.-мат. наук;  
С.Ю. Янсон, зам. директора РЦ ММ, канд. геол.-минер. наук  
(СПбГУ, г. Санкт-Петербург);  
И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;  
Л.Ф. Папко, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## ПОЛУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ АНАЛОГОВ ИМПАКТНЫХ СТЕКОЛ

Образование импактных стекол происходит при соударении Земли и малого космического тела (астероида, кометы). Процесс порообразования включает дробление, плавление и испарение вещества, последующую конденсацию пара, кристаллизацию расплава, перемещение и отложение продуктов дробления. Из импактного расплава в зависимости от скорости охлаждения образуются стекла или разнообразные по степени кристалличности, пористости и другим характеристикам породы. Высокая скорость данных процессов, протекающих при высоких температурах и давлениях, делают весьма сложной задачей воспроизведение ударного метаморфизма в лабораторных условиях [1].

Тем не менее экспериментальное моделирование импактных расплавов представляет интерес как в отношении изучения технологических особенностей получения стекол на основе горных пород, имеющих широкую область применения, так и в связи с важностью проблемы построения сценариев импактных событий и изучения пород земных астроблем [1, 2].

Цель настоящей работы – получение искусственных аналогов импактных стекол путем плавления пород мишени астроблемы с использованием высокотемпературных печей.

В качестве исходного материала для получения искусственных аналогов выбраны породы цокольного комплекса импактного кратера Жаманшин (Казахстан). В кратере присутствует целый ряд импактных стекол — от «тектитоподобных» (микроиргизиты и иргизиты) до импактных расплавов, как массивных (тагамиты), так и бомб (жаманшиниты), а также зювитов [3].

Для исследования использовались образцы пород астроблемы Жаманшин фракций 2–4 мм и < 1 мм. При получении расплавов варьировался состав исходной шихты. Плавление проб проводилось в газовой пламенной печи при максимальной температуре  $1515 \pm 5$  °С с выдержкой 0,5 ч. Апробировались различные условия охлаждения: мокрая грануляция, при которой длительность охлаждения составляла ~1 с; отлив-

ка на чугунную плиту (длительность охлаждения  $\sim 10^2$  с); охлаждение в тигле (длительность  $\sim 10^3$  с); охлаждение в печи (длительность  $\sim 10^6$  с).

Температуры, доступные для проведения наших экспериментов (до 1515 °С), не воспроизводят условия, возникающие при импактном событии. Однако они охватывают важнейший температурный интервал, в котором происходят процессы стеклования и кристаллизации.

Анализ химического и структурно-фазового состава образцов проводился с использованием следующего оборудования Научного парка СПбГУ: энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра EDX-800P (Shimadzu, Japan); дифрактометра Bruker "D2 Phaser" (Bruker, Germany); стереомикроскопа Leica205 M (Leica, Germany); сканирующего электронного микроскопа с системой энергоспектрального микроанализа QUANTA 200 3D (FEI, Netherlands); растрового электронного микроскопа-микроанализатора ТМ 3000 (НИТАСНІ, Japan).

Фазовый состав сланцев включает, мас. %: кварц 38,2; плагиоклаз 24,6; мусковит 8,1; хлорит 8,5; эпидот 9,0; микроклин 2,4. Породы вулканогенно-осадочного комплекса содержат, мас. %: кварц 14,3; плагиоклаз 37,9; мусковит 10,9; хлорит 4,0; эпидот 28,4; гематит 4,5.

Искусственные стекла сравнивались по структурно-фазовому и химическому составу с природными импактными стеклами Жаманшина — иргизитами, массивными расплавами — тагамитами.

При плавлении вулканогенно-осадочных пород получен однородный расплав с пониженной вязкостью. Образцы, полученные при быстром охлаждении, рентгеноаморфны. На поверхности образцов образуется окрашенная пленка. Микроминералогические исследования показали, что пленка представлена оксидами и гидроксидами железа. При стекловании расплава за счет уменьшения объема возникают скрытые трещины, в которых начинается скелетный рост минералов. При длительном охлаждении расплава в печи появляются вершинно-ребристые и полногранные формы кристаллитов.

При плавлении сланцев крупной фракции ( $> 2$  мм) получена остеклованная масса, содержащая включения кварца, кристобалита, при длительном охлаждении также и магнетита. При использовании сланцевой шихты фракции  $< 1$  мм происходит полное расплавление, при охлаждении в воде получены каплеобразные образцы стекла, по форме напоминающие иргизиты.

В случае частично расплавленной кристаллических сланцев с сохранившимися реликтами  $\text{SiO}_2$  при длительном охлаждении в печи кристаллизация происходит на поверхности и во внутреннем объеме. Реликтовые зерна  $\text{SiO}_2$  служат поверхностью для роста микродрузовых агрегатов кварца при длительном охлаждении расплава. Выделя-

ются также скелетные агрегаты оксидов железа.

Содержание основных элементов определялось методами рентгенофлуоресцентного анализа и электронного микроанализа. Установлено, что химический состав полученных искусственных стекол находится в хорошем соответствии с составом импактных расплавов астроблемы Жаманшин. Природные стекла не импактного генезиса значительно отличаются по составу от искусственных образцов. Этот факт доказывает правомерность примененной методики создания аналогов импактитов.

Самые быстро застывающие образцы из вулканогенно-осадочной породы и кристаллического сланца соответствуют по составу микроиргизитам. Это может свидетельствовать о характере возникновения микроиргизитов и основном их материальном источнике – породе кристаллического фундамента мишени Жаманшина.

Для образцов, полученных при больших скоростях охлаждения, имеется различие в распределении содержания основных элементов для вулканогенно-осадочной породы и кристаллического сланца. Сланцевые искусственные стекла близки по составам к иргизитам и микроиргизитам.

Таким образом, предложена методика получения аналогов импактных расплавов в высокотемпературной печи при варьировании состава исходной шихты, включающей различные породы астроблемы Жаманшин, и условий охлаждения расплава. Результаты исследования химического и структурно-фазового состава искусственных стекол, полученных из пород, показали хорошее соответствие Жаманшинским импактным расплавам. Природные стекла не импактного генезиса значительно отличаются по составу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальная и техническая петрология / А.М. Батанова и др. – М.: Научный мир, 2000 г. 416 с.
2. Импактные стекла. Первые эксперименты по физическому моделированию / Е. С. Сергиенко и др. // Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества – взгляд в будущее: сборник статей II Межд. научно-техн. конф. "Минские научные чтения - 2019", Минск, 11-12 декабря 2019 г. Т. 2. – Минск : БГТУ, 2020. – С. 179-182.
3. Флоренский П.В. Метеоритный кратер Жаманшин. – М.: Наука, 1980. – 125 с.