

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КРЕМНЕЗЕМА В ИМПАКТНОЙ СТРУКТУРЕ ЯНИСЬЯРВИ (КАРЕЛИЯ)

Замятина Д.А., Замятин Д.А., Михалевский Г.Б., Чебыкин Н.С.

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия, d.zamyatina@gmail.com

Введение

Изучение полиморфных модификаций кремнезема в импактитах имеет значение для выяснения Р-Т условий образования пород. Кварц переходит в тридимит и кристобалит при температуре 380–1470 °С, в коэсит и стишовит при давлении более 3.5 ГПа [Heaney et al., 2018]. В импактных структурах чаще встречается кристобалит [Osinski, 2004; Ferrière et al., 2009; Trepmann et al., 2020], тогда как тридимит был обнаружен только на Попигайской структуре [Whitehead et al., 2002] и в Чесапикском ударном кратере [Jackson et al., 2011].

В работе представлено исследование сосуществующих кварца, кристобалита и тридимита со следами стишовита и коэсита импактной структуры Янисьярви.

Методы исследования и объекты

Импактная структура Янисьярви расположена в 25 км к северу от Ладожского озера (Карелия, Россия). Диаметр кратера составляет 14 км. Целевые породы сложены нижнепротерозойскими кварц-биотитовыми сланцами ладожской серии [Masaitis, 1999]. На островах, расположенных в центре озера и на западном мысе (мыс Леппиниеми), вскрываются импактиты, представленные ударно-расплавными породами и зювитами. Исследована импактно-расплавная порода (Jl-07) с мыса Леппиниеми.

Оптическую микроскопию проводили на микроскопе Olympus BX-51. Для измерения химического состава минеральных фаз использовали электронно-зондовый микроанализатор Cameca SX100. Данные дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD) были получены с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM) TESCAN MIRA LMS.

Результаты и обсуждение

Импактит состоит из санидина, тридимита, кордиерита, кристобалита, кварца, альбита, ильменита, ферригидрита и титанита. Кристобалит и тридимит кристаллизовались совместно с санидином в виде изометричных зерен неправильной формы. Тридимит также образует зерна с игольчатыми и пластинчатыми сечениями, которые встречаются среди стекла или санидина. Кварц повторяет форму тридимита и кристобалита, образуя параморфозы по ним. В

кварце присутствуют поры и микровключения других минералов. Кристобалит и тридимит содержат до 3.21 мас. % Al_2O_3 , 0.72 мас. % FeO, 1.08 мас. % K_2O , 0.52 мас. % Na_2O , 0.19 мас. % CaO, 0.14 мас. % TiO_2 . Кварц содержит до 1.62 мас. % Al_2O_3 , 0.92 мас. % FeO, 0.42 мас. % K_2O , 0.25 мас. % Na_2O , 0.20 мас. % CaO, 0.30 мас. % MgO. Коэсит и стишовит обнаружены по соответствующим пикам (521 см^{-1} – коэсит, 751 см^{-1} – стишовит) на рамановских спектрах тридимита. Зерна тридимита с коэситом и стишовитом плохо раскрыты, сталлизованы по данным рентгеновской дифракции. Предположительно, они представлены смесью тридимита, аморфного кремнезема и стишовита/коэсита.

Полиморфы кремнезема в импактно-расплавных породах структуры Янисьярви представлены тридимитом, кристобалитом, кварцем, следами стишовита и коэсита. Во время ударного сжатия температуры были достаточно высокими, чтобы расплавить кварц. В горячих точках из расплава местами кристаллизовались коэсит и стишовит. При падении давления и поддержании высоких температур (более 900 °С) коэсит и стишовит преобразовались в тридимит. При быстрой закалке фазовый переход завершился не полностью, и образовалась смесь тридимита с аморфным кремнеземом и стишовитом/коэситом. Появление следов стишовита в тридимите указывает на ударное состояние между началом (12–14 ГПа) и завершением (30–40 ГПа) фазового перехода, когда образуется смесь низкобарических и высокобарических полиморфов кремнезема, например: кварц + аморфизированный кварц + стишовит [Stöffler, Langenhorst, 1994]. Далее основными фазами кремнезема, кристаллизующимися из расплава, были кристобалит и тридимит. Предполагается, что первым кристаллизовался кристобалит, а тридимит, вероятно, появился на месте кристобалита [Dapiaggi et al., 2015]. Кристобалит и тридимит переходят в низкотемпературные модификации после снижения температуры ниже 270 °С. Поскольку температура и скорость $\beta \rightarrow \alpha$ -перехода кристобалита зависят от размера, структуры и состава кристалла [Damby et al., 2014], предполагается, что переход не происходит одновременно. Медленное охлаждение и низкое содержание воды способствуют переходу кристобалита и тридимита в кварц.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № АААА-А19-119071090011-6. Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик».

ЛИТЕРАТУРА

1. Damby D.E., Llewellyn E.W., Horwell C.J., Williamson B.J., Najorka J., Cressey G., Carpenter M. The α - β phase transition in volcanic cristobalite // J. Appl. Crystallogr. 2014. V. 47. P. 1205–1215.
2. Dapiaggi M., Pagliari L., Pavese A., Sciascia L., Merli M., Francescon F. The formation of silica high temperature polymorphs from quartz: Influence of grain size and mineralising agents // J. Eur. Ceram. Soc. 2015. V. 35. P. 4547–4555.
3. Ferrière L., Koeberl C., Reimold W.U. Characterisation of ballen quartz and cristobalite in impact breccias: New observations and constraints on ballen formation // Eur. J. Mineral. 2009. V. 21. P. 203–217.
4. Heaney P.J., Prewitt C.T., Gibbs G.V. (Eds.). Reviews in Mineralogy. V. 29. Silica: physical behavior, geochemistry, and materials applications. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2018. 605 p.
5. Jackson J.C., Horton Jr. J.W., Chou I.M., Belkin H.E. Monoclinic tridymite in clast-rich impact melt rock from the Chesapeake Bay impact structure // Am Min. 2011. V. 96(1). P. 81–88.
6. Masaitis V.L. Impact structures of the northeast of Eurasia: The territories of Russia and neighboring countries // Meteorit. Planet. Sci. 1999. V. 34. P. 691–711.
7. Osinski G.R. Impact melt rocks from the Ries impact structure, Germany: An origin as impact melt flows? // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. V. 226. P. 529–543.
8. Stöffler D., Langenhorst F. Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observation and theory // Meteoritics. 1994. V. 29. P. 155–181.
9. Trepmann C.A., Dellefant F., Kaliwoda M., Hess K.U., Schmahl W.W., Hölzl S. Quartz and cristobalite ballen in impact melt rocks from the Ries impact structure, Germany, formed by dehydration of shock-generated amorphous phases // Meteorit. Planet. Sci. 2020. V. 55. P. 2360–2374.
10. Whitehead J., Grieve R.A.F., Spray J.G. Mineralogy and petrology of melt rocks from the Popigai impact structure, Siberia // Meteorit. Planet. Sci. 2002. V. 37. P. 623–647.