

Первые результаты U-Th-He датирования пирита из островодужных вулканогенных пород рудопроявления Карьерное (Полярный Урал)

Иванова Е. С.^{1,2}, Якубович О. В.^{1,2}, Соболев И. Д.³, Тюкова Е. Э.^{3,4}

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, ekate.s.ivanova@gmail.com

²ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург, olya.v.yakubovich@gmail.com

³ИГЕМ РАН, г. Москва, sobolev_id@mail.ru

⁴НГИЦ РАН, г. Москва, evgtyuk@mail.ru

Последние десятилетия U-Th-He система успешно применяется для решения задач изотопного датирования рудообразующих процессов (Flowers et al., 2022). Высокая термическая сохранность радиогенного гелия в кристаллической структуре пирита позволяет использовать этот минерал в качестве U-Th-He геохронометра (Yakubovich et al., 2019). В основе метода заложен распад альфа-радиоактивных изотопов ²³⁵U, ²³⁸U, ²³²Th, где одним из стабильных продуктов радиоактивных превращений является ⁴He. Совокупность данных по содержанию урана, тория и радиогенного гелия в образце позволяют рассчитать U-Th-He возраст минерала.

Наша работа посвящена развитию метода U-Th-He датирования рудообразующих процессов, а также, является частью фундаментальных исследований, посвященных реконструкции рудно-магматических систем палеозойской островодужной системы Полярного Урала. Задача непосредственно этой работы – определить U-Th-He возраст пирита из верхнесилурийско-нижнедевонских островодужных вулканогенных пород рудопроявления Карьерное.

Рудопроявление расположено среди палеозойских островодужных образований Малоуральского вулcano-плутонического пояса в Тоупугол-Ханмейшорском золоторудном узле, находящемся в северной части Войкарской зоны Полярного Урала. Стратифицированные образования здесь представлены предположительно верхнесилурийско-нижнедевонскими вулканогенно-осадочными (флишоиды, полимиктовые брекчии с обломками вулканогенных, интрузивных и карбонатных пород (Волчков, Кряжев, 2005) и вулканогенными породами тоупугольской толщи, которые прорваны дайками ранне-среднедевонских диоритовых порфириров и кварцевых диоритов собского комплекса, а также раннекаменноугольными дайками долеритов, лампрофиров и монцодиорит-порфириров мусюрского комплекса.

На рудопроявлении Карьерное нами исследованы туффиты (обр. 14/32, 66°48'12" с.ш., 66°26'05" в.д.) – средне-мелкообломочные кристаллокластические, с обильной рассеянной и послышной вкрапленностью пирита, который и был отобран для U-Th-He датирования.

Химический состав пирита был изучен в полированной шайбе на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N, оснащенный детектором AzTec Energy 350 (Ресурсный центр «Геомодель», СПбГУ). Размер зерен варьирует от 250 до 500 мкм. Установлена химическая неоднородность пирита, обусловленная зональным распределением примеси мышьяка (рис. 1). Наиболее часто среди включений встречаются галенит, халькопирит, реже – пирротин, титанит и рутил, в единичных случаях отмечаются микронные выделения арсенопирита и сфалерита. Небольшой размер включений рутила (менее 10 мкм) препятствует накоплению в них радиогенного гелия, который соответственно имплантирован в кристаллическую решетку пирита (Yakubovich et al., 2020).

Для обеспечения последовательного определения содержаний элементов в каждом образце навеска зерен пирита (1 – 2 мг) помещается в кварцевую ампулу и запаивается в условиях форвакуума (10⁻³ торр). Измерение концентрации радиогенного гелия выполнено на магнитно-секторном масс-спектрометрическом комплексе МСУ-Г-01-М (ИГГД РАН).

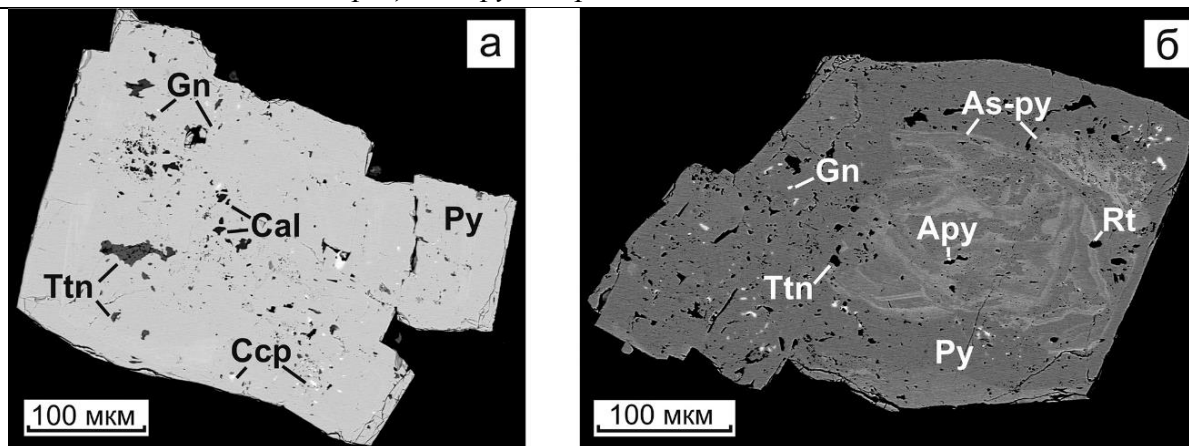


Рисунок 1. BSE-изображения пирита из вулканогенных пород рудопроявления Карьерное: а – минеральные включения в кристалле пирита; б – зональное распределение мышьяка в пирите.

Условные обозначения минералов: Ару – арсенопирит; As-Ру – мышьяковистый пирит; Cal – кальцит; Ссп – халькопирит; Gn – галенит; Py – пирит; Rt – рутил; Ttn – титанит.

Определение урана и тория производится методом изотопного разбавления. Для этого выполняется полное разложение кварцевой ампулы, с заключенными в ней продуктами термического разложения пирита (пирротин и сера), которые содержат примеси урана и тория. Разложения проводятся в смеси кислот (царская водка, HF и HClO₄) с добавлением смешанного трассера ²³⁰Th-²³⁵U при температуре 130 °С в течение 24 часов. Измерение изотопных отношений ²³⁵U/²³⁸U и ²³⁰Th/²³²Th выполнено на ELEMENT XR ICP MS (ГЕОХИ РАН). Для оценки точности измерения проведена аналогичная процедура с апатитом Durango, признанным международным стандартом для U-Th-He метода. Среднее значение U-Th-He возраста рассчитано в программе IsoplotR (Vermeesch, 2018). Ввиду большого размера зерен поправка на ядра отдачи не вводилась.

Концентрация гелия в пирите из рудопроявления Карьерное лежит в диапазоне 9.40 – 3.27 10⁻⁸ см³/г, что существенно выше, чем концентрации захваченного флюидом гелия (Yakubovich et al., 2019). Содержание урана 0.54 – 1.68 мкг/г (Th/U = 0.46).

Первые предварительные результаты U-Th-He датирования пирита из туффитов рудопроявления Карьерное показывают возраст – 415±8 млн лет, что соответствует лоховскому веку раннего девона. Этот возраст близок к верхнему возрастному пределу формирования тоупугольской толщи и, вероятно, соответствует одному из ранних – колчеданных этапов рудообразования в Тоупугол-Ханмейшорском рудном узле.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-77-10088.

Волчков А.Г., Кряжев С.Г. Вещественный состав, условия локализации и формирования золотого оруденения Новогодненского рудного поля. Тоупугол-Ханмейшорская площадь, Полярный Урал. Отчет по договору № бд. М.: ЦНИГРИ. 2005. 150 с.

Flowers R.M., Zeitler P.K., Danišik M., Reiners P.W., Gautheron C., Ketcham R.A., Metcalf J.R., Stockli D.F., Enkelmann E., Brown R.W. (U-Th)/He Chronology: Part 1. Data, Uncertainty, and Reporting // GSA Bulletin. 2022. April. P. 1–33.

Yakubovich O.V., Vikentyev I.V., Bryanskiy N.V., Zarubina O.V., Gorokhovskii B.M. Dating pyrite by radiogenic helium: new approach to determine the age of hydrothermal processes // Life with Ore Deposits on Earth – 15th SGA Biennial Meeting 2019 Proceedings. Glasgow, 2019. Vol. 1. P. 194–197.

Yakubovich O., Podolskaya M., Vikentyev I., Fokina E., Kotov A. U-Th-He geochronology of pyrite from the Uzelga VMS deposit (South Urals) – new perspectives for direct dating of the ore-forming processes // Minerals. 2020. Vol. 10 (629). P. 1–20.

Vermeesch P. Isoplot R: A free and open toolbox for geochronology // Geoscience Frontiers. 2018. Vol. 9 (5). P. 1479–1493.