

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ»
(ФГБУ «ЦНИГРИ»)

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ
РУДНАЯ ШКОЛА ЦНИГРИ 2024

«Минерально-сырьевая база алмазов, благородных
и цветных металлов – от прогноза к добыче»

Москва ФГБУ «ЦНИГРИ»
14–16 февраля 2024

Москва
ЦНИГРИ
2024

УДК 553.41/.82.04 (043.2)
P83

Рудная школа 2024. Сборник тезисов докладов (14–16 февраля 2024 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2024. – 186 с.

ISBN 978-5-85657-045-7

В сборник включены 64 тезиса докладов, представленных на Рудной школе ЦНИГРИ 2024 «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче». Цель школы – развитие научного и творческого потенциала молодых ученых и специалистов в области геологии, формирование кадров научно-прикладного направления. В тезисах докладов представлены материалы по следующим темам: металлогения, минерагения и рудогенез; прогноз, поиски, оценка и разведка месторождений полезных ископаемых; разработка прогнозно-поисковых и геолого-генетических моделей месторождений твердых полезных ископаемых; методы изучения вещественного состава пород и руд; физико-химические условия минералообразования; геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и участков недр; использование геоинформационных технологий и пространственных данных в геологической отрасли; современные технологии добычи и переработки минерального сырья. Материалы школы ориентированы на молодых ученых и специалистов по различным направлениям наук о Земле.

Научно-техническое издание

Тезисы докладов не рецензировались.
Публикуются в авторской редакции.

Сдано в набор 29.01.2024. Подписано в печать 08.02.2024
Печать цифровая. Тираж 50 экз.

Полиграфическая база ФГБУ «ЦНИГРИ»:
117545, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

2. Прасолов А. М., Владимирцева О. В. Морфологический анализ россыпного золота при прогнозировании нетепличных источников аллювиальных россыпей / Новое в познании процессов рудообразования : Двенадцатая Российская молодежная научно-практическая Школа. – Сборник материалов [Электронный ресурс]. – М. : ИГЕМ РАН, 2023. – С. 169–172.
3. Протопопов Г. Х., Трущелев А. М., Кузнецов Ю. В., Радулевич Я. А. [и др.]. Государственная геологическая карта СССР м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Листы Q-54 – Усть-Нера. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2020. – 843 с.

**Соколова Л. А.^{1,2}, Якубович О. В.², Лейбгам П. Н.³,
Черных А. И.⁴, Наумов Е. А.³, Аносова М. О.⁵**

¹ СПбГУ, г. Санкт-Петербург, ² ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург,

³ ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва, ⁴ ООО «УК Полюс», г. Москва, ⁵ ГЕОХИ РАН, г. Москва

(U,Th)-He ДАТИРОВАНИЕ ПИРИТА ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ РУД КАЛАРСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (ГОРНАЯ ШОРИЯ)

Каларское золото-серебряное рудопроявление располагается в западной части Алтае-Саянской складчатой области, в пределах Кабурчакской ранне-среднедевонской вулканотектонической структуры (ВТС). Кабурчакская ВТС сложена раннедевонскими породами учулено-казаньского риолит-андезит-базальтового комплекса [1]. Рудная минерализация рудопроявления относится к промежуточно сульфидизированному подтипу (intermediate-sulfidation) эпитеpмального типа [3, 9].

Ранее возраст рудной минерализации Каларского рудопроявления оценивался Ar-Ag методом по серициту из метасоматитов – $396 \pm 3,8$ млн лет [6] и U-Pb методом по циркону из риолит-порфиров – $379,5 \pm 1,6$ млн лет [5]. Геохронологические оценки времени формирования руд различаются, что, вероятно, указывает на сложную и/или длительную эволюцию вулкано-магматической системы.

Целью данной работы является определение возраста образования рудной минерализации с помощью прямого датирования пирита.

(U,Th)-He датирование основано на альфа-распаде изотопов урана и тория. Для получения (U,Th)-He возраста минерала необходимо измерить концентрации изотопов U, Th и He [11]. Исследования устойчивости гелия в кристаллической решетке пирита показали, что пирит имеет высокую сохранность гелия и может быть использован в качестве (U, Th)-He геохронометра [14].

Для исследования были выбраны несколько фрагментов керна двух скважин, располагающихся в центральной зоне рудопроявления (7к и С-2). Из выбранных фрагментов были изготовлены аншлифы, детально описана минерализация [3, 9], после чего из аншлифов вручную извлекались зерна для датирования.

Концентрации радиогенного гелия в образце измерялись на масс-спектрометре МСУ-Г-01-М в ИГГД РАН [15]. Для этого навеска из нескольких зерен (1–4) массой до 2 мг помещалась в кварцевую ампулу и запаивалась в форвакуумных условиях. Далее ампула с образцом помещалась в масс-спектрометр, где измерялась концентрация гелия методом ступенчатого нагрева. После измерения, ампула извлекалась, и образец подготавливался для измерения концентраций урана и тория методом изотопного разбавления с использованием смешанного трассера ^{235}U – ^{230}Th . Растворение образца происходило в закрытых тefлоновых бюксах в автоклаве с использованием плавиковой, азотной и хлорной кислот на протяжении 48 часов при температуре 220 °С. Концентрации U и Th измерялись на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELEMENT XR в ГЕОХИ РАН.

Для контроля измерений на всех этапах параллельно проводилось измерение концентраций гелия, урана и тория в пустых кварцевых ампулах. Также для контроля достоверности аналитических данных использовался апатит Durango (международный стандарт для датирования (U, Th)-He методом). Для выявления внутренних структур пирита в исследуемых аншлифах

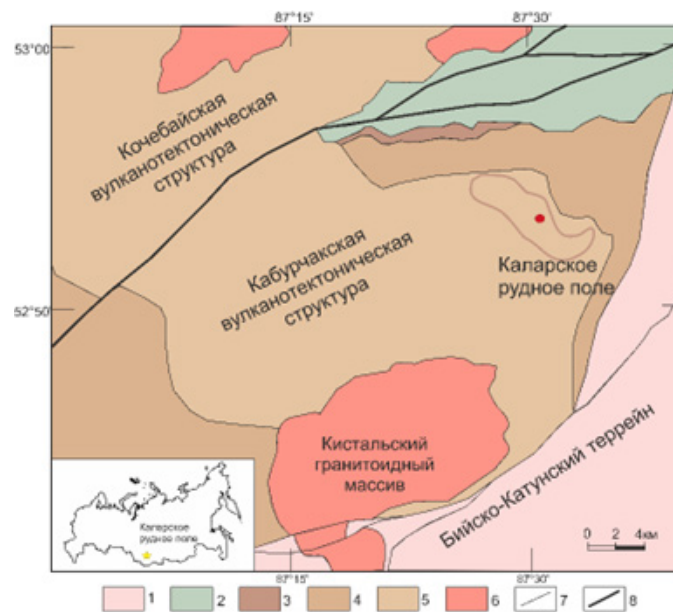


Рис. 1. Схема расположения Каларского рудного поля на геологической схеме, по [9]:

1 – известняки и глинисто-кремнистые сланцы; 2 – вулканогенно-осадочные породы, базальты и песчаники; 3 – конгломераты, песчаники; 4 – лавы и туфы основного и среднего состава; 5 – туфы среднего и кислого состава; 6 – граниты и порфиоровые граниты; 7 – геологические границы; 8 – разломы

было проведено структурное травление с помощью щелочного раствора перманганата калия. Для этого поверхность аншлифа, из которого ранее извлекалось зерно для датирования, обрабатывалась раствором. Полученные структуры изучались с помощью рудного микроскопа [4].

Для трех фрагментов породы было получено 10 значений возрастов. Для всех образцов концентрации U и Th выше фоновых значений. Образцы из разных скважин имеют разные концентрации урана и разное U/Th отношение. Полученные значения (U, Th)-He возраста пирита характеризуются дисперсией возрастов от 328 до 402 млн лет. При этом значения имеют равномерное распределение на всем интервале. Была выделена зависимость возраста от размера зерна: зерна большего размера имеют более молодые значения (U, Th)-He возраста. Большой разброс значений (U, Th)-He возраста в исследуемом пирите может быть связан как с открытым поведением (U, Th)-He системы (происходит при потере и/или привносе материнских изотопов урана и тория или дочернего изотопа гелия), так и с наличием нескольких генераций пирита разного возраста.

Факторами, влияющими на открытое поведение (U, Th)-He системы в пирите могут быть: потеря материнских изотопов урана и тория при взаимодействии с грунтовыми водами [13] и/или за счет неполного растворения включений труднорастворимых минералов (циркон, рутил) в ходе аналитических исследований; захват гелия в виде газовой-жидких включений [12]; имплантирование радиогенного гелия в кристаллическую решетку [8]; термическая потеря гелия [11]. Однако контроль отбора проб, соблюдение аналитической методики, анализ результатов измерений и детальное изучение устойчивости гелия в пирите [14] позволяют сделать вывод, что (U, Th)-He система в данном случае не является открытой.

В результате структурного травления аншлифов было отмечено зональное строение отдельных зерен пирита. Это наблюдение с учетом данных о сложном строении рудных жил позволяет предположить наличие нескольких генераций пирита. Таким образом, большая дисперсия значений возраста может отражать наличие в пробе пирита из разновозрастных генераций. Полученные значения возраста проявляют большую дисперсию в диапазоне от становления Кистальского массива [2] (403–404 млн лет) и до коллизионных событий серпуховского века [1] (323–330 млн лет). Пирит может перекристаллизовываться/новообразовываться при метаморфических и метасоматических событиях [7, 10]. Выявленная зависимость возраста от размера зерна может косвенно подтверждать наличие процесса перекристаллизации/новообразования,

сопровождающегося его укрупнением. Таким образом, широкий разброс (U, Th)-He возрастов может быть связан либо с длительной историей развития гидротермальной системы, либо с более поздним наложенным событием, которое привело к появлению поздних генераций пирита.

Работы по изучению (U, Th)-He возраста пирита выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ 22-77-10088.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабин Г. А., Зейферт Л. Л., Шигрев А. Ф. и др. Легенда Алтае-Саянской серии листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). – Новокузнецк: Запсибгеолсъемка, 2006.
2. Вареник А. В. и др. Поисковые работы на золото-серебряное оруденение в пределах перспективных участков Красногорско-Кабурчакской площади (Кемеровская область): геологический отчет о результатах работ. – Новосибирск : СНИИГиМС, 2020.
3. Лейбгам П. Н. Минералого-геохимические характеристики Каларского Au-Ag рудопоявления (Горная Шория) // Магистерская диссертация. – М., 2021.
4. Сафина Н. П., Новоселов К. А. Микроскопические методы исследований в рудной геологии // Учебное пособие. – Миасс: УрО РАН, 2011.
5. Уваров А. Н. и др. ГДП-200 листа N-45-XXVIII (Таштагольская площадь). – Елань, 2014.
6. Черных А. И., Неволько П. А., Борисенко А. С. Эпитермальное золото-серебряное оруденение Кабурчакского рудного узла (Горная Шория) – особенности локализации, минералогия и возраст // Минералогия, рудные и нерудные полезные ископаемые. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 76–82.
7. Barrie C. D., Pearce M. A., Boyle A. P. Reconstructing the pyrite deformation mechanism map // Ore Geology Reviews. – 2011. – 39(4). – P. 265–276.
8. Farley K. A., Wolf R. A., & Silver L. T. The effects of long alpha-stopping distances on (U-Th)/He ages // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1996. – 60(21). – P. 4223–4229.
9. Leibham P. N. Au-Ag mineralization of the Kalar orefield, GornayaShoriya, Russia // The 16th Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA). The critical role of minerals in the carbon-neutral future. New Zealand. – V. 1. – P. 192–195.
10. Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 85. – P. 30–63.
11. Reiners P. W., Carlson R. W., Renne P. R., Cooper K. M., Granger D. E., McLean N. M., and Schoene B. // Geochronology and thermochronology. – 2018. – P. 464.
12. Stuart F. M., Turner G., Duckworth R. C., & Fallick A. E. Helium isotopes as tracers of trapped hydrothermal fluids in ocean-floor sulfides // Geology. – 1994. – 22(9). – P. 823–826.
13. Yakubovich O., Vikentyev I., Ivanova E., Podolskaya M., Sobolev I., Tyukova E., Kotov A. U-Th-He Geochronology of Pyrite from Alteration of the Au-Fe-Skarn Novogodnee-Monto Deposit (Polar Urals, Russia) – The Next Step in the Development of a New Approach for Direct Dating of Ore-Forming Processes // Geosciences. – 2021. – 11(10). – P. 408.
14. Yakubovich O. V., Gedz A. M., Vikentyev I. V., Kotov A. B., Gorokhovskii B. M. Migration of Radiogenic Helium in the Crystal Structure of Sulfides and Prospects of Their Isotopic Dating // Petrology. – 2019. – 27(1). – P. 59–78.
15. 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. – 10(7). – P. 1–20.