

Часть 5. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

С. Е. Знаменский¹, Н. Н. Анкушева²

¹ – *Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа*
Znamensky_Sergey@mail.ru

² – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

Большекаранское и Николаевское золоторудные месторождения (Южный Урал): флюидные включения, элементы-примеси и стабильные изотопы S, C и O в минералах рудных жил

Большекаранское и Николаевское месторождения золота расположены в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале. По пространственной ассоциации с островодужными порфиристыми интрузиями, штокверковой морфологии рудных тел и составу околорудных метасоматитов они отнесены к месторождениям редкого на Урале золото-порфиристого типа [Знаменский и др., 2017; Знаменский, Холоднов, 2018]. С целью выяснения условий формирования и возможных источников минералообразующих флюидов, а также уточнения рудно-формационной принадлежности месторождений нами изучены флюидные включения, элементы-примеси, стабильные изотопы и изотопные соотношения серы, углерода и кислорода в рудах.

Анализ флюидных включений проведен в микротермокамере Linkam TMS-600 с программным обеспечением LinkSystem 32 DV-NC на оптическом микроскопе Olympus BX 51 в лаборатории термобарогеохимии Южно-Уральского государственного университета (аналитик Н. Н. Анкушева). Солевой состав определен по температурам эвтектик растворов [Борисенко, 1977]. Концентрации солей растворов включений рассчитаны по температурам плавления последних кристаллических фаз [Bodnar, Vityk, 1994].

Элементы-примеси в кварце и кальците определены методом ЛА ИСП МС на масс-спектрометре Agilent 7700x с программным комплексом MassHunter и лазерной приставкой New Wave Research Up-213 в Институте минералогии УрО РАН (аналитик Д. А. Артемьев). Содержания рассчитаны в программе Iolite с использованием ²⁹Si в качестве стандарта. Содержания РЗЭ и Y определены методом ИСП МС на масс-спектрометре ELAN 9000 (PerkinElmer) в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитик Д. В. Киселева) и нормированы на хондрит CI [McDonough, Sun, 1995]. Аномалии Eu и Ce рассчитаны по формулам: $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N / (Tb_N \times Eu_N)^{0.5})^{0.5}$, $Ce/Ce^* = Ce_N / ((2La_N + Sm_N)/3)$.

Изотопный состав серы в пирите и арсенопирите проанализирован на масс-спектрометре Delta^{PLUS} Advantage, сопряженном с элементарным анализатором EA Flash 1112 и интерфейсом ConFlo III в Институте минералогии УрО РАН (аналитик С. А. Садыков). Изотопный состав углерода и кислорода определен в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН на масс-спектрометре DELTA V Advantage (аналитик Л. Н. Андреичев) и аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (аналитик Т. А. Веливецкая) на изотопном масс-спектрометре MAT 253 (Thermo Fisher Scientific). Значения $\delta^{18}O_{H_2O}$ и $\delta^{13}C_{CO_2}$ флюида рассчитаны согласно [Zheng, 1999] и [Ohmoto, Rye, 1979], соответственно.

Месторождение Большой Каран расположено на южном окончании Вознесенского габбро-диоритового массива (D₁). Золотоносные штокверковые и брекчиевые сульфидно-карбонат-кварцевые руды ассоциируют с дайками кварцевых габбро-диорит-порфириров, диорит-порфириров и реже плагиогранит-порфириров. По петрохимическим и геохимическим признакам дайки близки диоритоидам, слагающим Вознесенский массив, и, по-видимому, представляют собой его позднюю «порфировую» фазу [Знаменский и др., 2017]. Околорудные изменения представлены метасоматитами филлизитового типа (парагенезис серицит+кварц+хлорит+карбонат±биотит±кальцевый полевой шпат).

Флюидные включения в кварце рудных прожилков гомогенизируются при 360–280 °С; в более позднем кальците – при 230–200 °С. Включения в кварце и кальците содержат водные Mg–K–Na растворы соленостью 4–11.9 мас. % NaCl-экв. Кварц месторождения отличается аномально высокими содержаниями Al (916–1556 г/т), свидетельствующими о его кристаллизации из кислых высокоглиноземистых растворов [Rusk et al., 2008], и повышенными концентрациями (г/т) Ti (4.18–12.1), Li (66.5–102), Ge (3.29–6.48) и Sb (3.12–5.73). Точки составов кварца в координатах Al–Ti находятся между полями порфировых и мезотермальных орогенных золоторудных месторождений [Rusk, 2012].

Спектры распределения РЗЭ в кальците обогащены легкими лантаноидами, что свидетельствует о кислом составе флюида [Schwinn, Markl, 2005]. На них проявлены положительные аномалии Eu (1.72–3.14) и незначительные отрицательные аномалии Ce (0.79–0.99). Положительные аномалии Eu отражают высокотемпературную обстановку (>250 °С), существовавшую до кристаллизации кальцита [Вац, 1991]. Отрицательные аномалии Ce могут быть признаком взаимодействия флюида с известняками, слагающими тектонические блоки в серпентинитовом меланже вблизи Вознесенского массива. Величина Y/Ho в кальците (22.4–30.2) соответствует значениям этого отношения в рудоносных дайках (26.2–29.9), что может быть признаком магматогенной природы флюида.

Значения $\delta^{34}\text{S}$ в пирите руд варьируют в интервале от –0.60 до +3.46 ‰. Полученные величины указывают на магматические источники серы в рудообразующем флюиде месторождения. Величины $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (6.1–8.5 ‰) минералообразующего флюида, рассчитанные для температуры кристаллизации кальцита 220 °С, за исключением одного анализа (11.1 ‰), соответствуют изотопному составу воды магматического происхождения. Значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ флюида (–3.5...0 ‰) свидетельствуют о поступлении в гидротермальную систему углерода как магматогенной природы, так и извлеченного из вмещающих пород, по-видимому, из известняков. По термобаро-геохимическим и изотопно-геохимическим характеристикам руд Большекаранское месторождение, в целом, соответствует золото-порфировым месторождениям [Sillitoe, 2000] и, вероятно, образовалось в периферической части порфировой рудообразующей системы.

Николаевское месторождение приурочено к тектоническому блоку, сложенному породами островодужной вулcano-интрузивной ассоциации, объединяющей плагиофировые и пироксен-плагиофировые базальты, туфы и тефроиды основного состава, интрузии габбро и дайки плагиофировых долерит-порфириров и габбродиорит-порфириров [Знаменский, Холоднов, 2018]. По химическому составу эффузивные и интрузивные породы ассоциации близки вулканитам баймак-бурибаевской свиты (D_{1e2}) и, по всей вероятности, являются их возрастным аналогом. Размещение

золотоносной сульфидно-карбонат-кварцевой минерализации на месторождении контролируется эндо-экзоконтактовыми зонами даек долерит-порфиритов и габбро-диорит-порфиритов. Рудовмещающие породы в пределах рудоносного блока подверглись пропилитовым изменениям эпидот-актинолитовой фации. Золоторудная минерализация сопровождается пропилитами более низкотемпературной альбит-хлоритовой фации. В состав околорудных метасоматитов входят альбит, хлорит, кальцит, кварц, пренит и иногда серицит и биотит.

Флюидные включения в кварце гомогенизируются в интервале температур 260–200 °С, а в кристаллизовавшемся позднее кальците – 227–205 °С. Включения содержат К–Mg–Na водно-хлоридные растворы с соленостью 4.5–11.9 мас. % NaCl экв. Кварц обладает невысокими концентрациями Al (11.7–102 г/т) и Ti (0.0–0.64 г/т), свидетельствующими о его отложении из низкоглиноземистого слабокислого флюида при $T < 350$ °С [Rusk et al., 2008]. Отличительными геохимическими особенностями кварца являются повышенные содержания Fe (до 113 г/т) и Cu (до 58 г/т). Точки составов кварца в координатах Al–Ti располагаются между полями мезотермальных орогенных золоторудных и эпитеpmальных месторождений, частично попадая в поле последних [Rusk, 2012].

Спектры распределения РЗЭ в кальците характеризуются накоплением тяжелых лантаноидов ($La_N/Yb_N = 0.2–0.9$), что указывает на повышенную щелочность флюида [Schwinn, Markl, 2005]; отрицательными аномалиями Ce (0.39–0.82) и положительными – Eu (1.99–5.25). Отрицательные аномалии Ce могут быть обусловлены взаимодействием флюида с известняками, залегающими в основании разреза месторождения, и присутствием в его составе метеорной воды. Положительные аномалии Eu, как и на месторождении Большой Каран, отражают высокотемпературную обстановку (>250 °С), существовавшую до кристаллизации кальцита. Значения Y/Но в кальците (28.7–54.1) позволяют предполагать присутствие во флюиде компонентов магматогенной природы и извлеченных из известняков, а также морской воды.

Значения $\delta^{18}O_{H_2O}$ (3.6–5.6 ‰) флюида свидетельствуют об участии в рудообразовании магматической и метеорной воды, а $\delta^{13}C_{CO_2}$ – углерода магматогенной природы и углерода, экстрагированного из известняков. Тяжелый изотопный состав S пирита (6.88–9.87 ‰) и арсенопирита (8.7 ‰) может быть связан с ее мобилизацией из вмещающих пород или с вовлечением в рудогенез сульфат-иона $[SO_4]^{2-}$ морской воды, захороненной в порах пород. Таким образом, Николаевское месторождение отнесено к островодужным (Au±Cu)-кварц-сульфидным месторождениям, переходного от порфирового к эпитеpmальному типа [Corbett, Leach, 1998].

Геохимические и изотопные исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-45-020717). Термобарогеохимические исследования выполнены в рамках государственного задания лаборатории минералогии рудогенеза Института минералогии УрО РАН на 2019–2021 гг.

Литература

- Борисенко А. С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–28.
- Знаменский С. Е., Косарев А. М., Знаменская Н. М., Тимофеев С. П., Шафигуллина Г. Т. Структурный контроль и геохимия рудоносных даек золото-порфирового месторождения Большой Каран (Южный Урал) // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2017. № 24. С. 39–46.

Знаменский С. Е., Холоднов В. В. Петролого-геохимические особенности рудовмещающих эффузивных и интрузивных пород Николаевского месторождения золото-порфирового типа (Южный Урал) // Литосфера. 2018. Т. 18. № 4. С. 607–620.

Bau M. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and significance of oxidation state of europium // *Chemical Geology*. 1991. Vol. 93. P. 219–230.

Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignana-Siena: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1994. P. 117–130.

Corbett G.J., Leach T.M. Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization // *Special Publications of the Society of Economic Geologists*. 1998. № 6. 214 p.

McDonough W.F., Sun S. The composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Ohmoto H., Rye R. O. Isotopes of sulfur and carbon // *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. N.-Y.: Wiley, 1979. P. 509–567.

Rusk B. G. Cathodoluminescent textures and trace elements in hydrothermal quartz // *Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics*. N.-Y.: Springer, 2012. 360 p.

Rusk B. G., Lowers H. A., Reed M. H. Trace elements in hydrothermal quartz: Relationships to cathodoluminescent textures and insights into vein formation // *Geology*. 2008. Vol. 36. № 7. P. 547–550.

Sillitoe R. H. Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery // *SEG Reviews*. 2000. Vol. 13. P. 315–345.

Schwinn G., Markl G. REE systematics in hydrothermal fluorite // *Chemical Geology*. 2005. Vol. 216. P. 225–248.

Zheng Y.-F. Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals // *Geochemical Journal*. 1999. Vol. 33. P. 109–126.

А. В. Сначев

Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

Savant@rambler.ru

Геологическое строение и геохимические особенности золота Куртмалинской россыпи (Южный Урал)

Куртмалинская (Акташская) россыпь, а также Восточно- и Западно-Акташское золоторудные проявления входят в Акташское рудное поле, расположенное в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория (рис. 1). В размещении золотого оруденения Восточно-Акташского рудопроявления четко проявлен структурный контроль. Самородное золото отмечается чаще всего в составе кварц-сульфидной минеральной ассоциации в березитизированных габбро-диоритах (прорывающих известняки катавской свиты), где его содержания в отдельных пробах достигают десятков граммов на тонну. Форма самородного золота самая разнообразная: на контакте зерен пирита с кварцем преобладают пластинчатые (трещинные) золотины, в пирите – комковидные и изометрично-кристаллические, в кварце – преимущественно пленочное золото. Размер золотинок не превышает 1 мм. По химическому составу золото средней пробы (821–859 ‰), его характерная черта – повышенные содержания Ag (14–17 %) и примеси (%) Cu (0.02–0.1), Bi (0.07–0.03), Te (0.06–0.01); Ag/Au отношение составляет 0.16–0.21 [Рыкус, Сначев, 1999].