

**РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ
В ИЗУЧЕНИИ МИНЕРАЛОГИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОЛЧЕДАНЫХ РУД
НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО- И ВЕРХНЕ-ВОЖМИНСКОГО ПРОЯВЛЕНИЙ
КАМЕННООЗЕРСКОЙ СТРУКТУРЫ, ВОСТОЧНАЯ КАРЕЛИЯ**

Н. Ю. Ларькина, Л. В. Кулешевич

*Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск,
larkina@igkrc.ru, kuleshev@krc.karelia.ru*

Применение рентгеноспектрального микроанализа в минералогии дает возможность получения достаточно точных данных о химическом составе очень мелких зерен минералов. А это, в свою очередь, гарантирует химическую гомогенность выбранных для анализа зерен. Локальность микроанализа позволяет исключить искажение результатов за счет посторонних микровключений. Кроме того, локальный рентгеноспектральный анализ позволяет изучить микронеоднородность химического состава минеральных зерен и монокристаллов.

С применением рентгеноспектрального микроанализа в минералогии стало возможным решить такие задачи, как: определение и уточнение химического состава минералов (в первую очередь в микровключениях), изучение микросрастаний минералов, стехиометричности и нестехиометричности состава минералов, исследование изоморфизма, внутренней химической неоднородности монокристаллов и др. [Бородаев и др., 1988].

Краткая геологическая характеристика Каменноозерской структуры. Территория Карелии по общим поисковым критериям является перспективной на поиски золоторудных месторождений, однако крупные месторождения золота в республике неизвестны, и добыча золота не ведется. При оценке территорий на золото, колчеданные руды обычно рассматриваются как возможные первичные (базовые) формации, содержащие фоновые или повышенные концентрации золота, среди них колчеданно-полиметаллические руды, выделяются как золотосодержащие. Примером могут служить руды Урала [Сазонов, 2001]. По генезису эти руды относятся к гидротермальным вулканогенно-осадочным, либо магматогенным (VMS-тип, в иностранной литературе). В Каменноозерской структуре Восточной Карелии они представлены двумя типами [Кулешевич и др., 1998; 2003; 2005; 2006; Минерально-сырьевая база Республики Карелия, 2005]: 1 – колчеданными и 2 – золотосодержащими колчеданно-полиметаллическими рудами.

Проведенное микрозондовое исследование колчеданно-полиметаллических руд 2-го типа на двух участках Северо- и Верхне-Вожминском в СВ части Каменноозерской структуры позволило установить детальный минералогический состав руд и обнаружить редкие минералы спутники золота, содержащие Pb, Ag, Bi, S, Se.

Колчеданно-полиметаллические руды образуют жильные и прожилково-вкрапленные пластовые залежи, залегающие субсогласно или секущие вожозерскую андезит-базальтовую толщу и прорывающие ее габбро-диабазы. Руды представлены массивными, брекчиевидными и вкрапленно-прожилковыми типами.

Рудопроявление С.-Вожминское расположено в северной части Каменноозерской приразломной зоны. Проявление приурочено к северо-восточной зоне, секущей андезиты и вулканогенно-осадочную толщу, горизонты маломощных колчеданных руд и дайку габбро-диабазов. На участке Северо-Вожминском выделяют золотосодержащие массивные, брекчиевидные и прожилковые густо-вкрапленные колчеданно-полиметаллические зональные руды, образование которых связано с гидротермальной деятельностью андезитового вулканизма, протекавшего в островодужной обстановке [Кулешевич и др., 2005]. Руды зональные, по минеральному составу делятся на халькопирит- или

сфалерит-пиритовые и существенно пиритовые. Рудные участки перемежаются с безрудной породой.

Оруденение представлено пиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, пирротином, в меньшем количестве встречаются арсенопирит, кобальтин, Bi-Se-минералы. В близповерхностных частях рудного тела более широко развит борнит и дигенит. Околорудные изменения представлены кварцем, альбитом, серицитом, хлоритом, Na-турмалином. Средняя $T_{обр.}$ хлорита из зон околорудного изменения $\sim 280\text{--}320$ °C (геотермометр Cathelineau). Центральная и более близкая к поверхности часть рудного тела сложена преимущественно пиритом. К самым верхним и средним частям залежи тяготеет халькопирит. На глубине от 35–45 до 100 м и ниже развит сфалерит: он обычно тяготеет к средним и нижним частям залежи, тогда как халькопирит и золото – к средним и верхним. Вблизи поверхности руды более окислены, они содержат борнит, дигенит и карбонаты меди (1–3 %).

Содержание Au в рудах достигает 1.8–2.8 г/т при ср. 0.9 г/т. Среднее содержание Cu в богатых рудах составляют 4.7 %, Zn 2.5 % (до 9.2 %), Co 0.07 % с запасами руды 3.7 млн т. Отмечаются высокие концентрации Pb (1.8 %) и Ag 25 г/т (данные Карельской ГЭ). Прогнозные ресурсы категории P_1 , по данным В. М. Тытыка (фондовые материалы Кар ГЭ), для золота составляют 0.6 т (до 2 т), для меди – 20 тыс. т, цинка – 110 тыс. т, кобальта – 300 тыс. т.

Минеральный состав руд. Пирит образует небольшие кристаллы кубо-октаэдрического габитуса размером <1 мм, часто он бывает раздроблен и по трещинкам цементируется сфалеритом, халькопиритом, реже пирротином и галенитом, что указывает на пульсационное двустадийное формирование залежи. Количество пирита в рудах колеблется от 50 до 90 %. Он содержит Co 0.03–0.18 % (данные сп/а), Ni 0.01 %, иногда As до 0.04 % и примеси Cu, Ag.

Крупные призматические или ромбические кристаллы арсенопирита достигают 0.5–0.7 см. Они близки по времени образования с пиритом, обычно захватывают его, а по трещинкам пересекаются сфалеритом и халькопиритом. Содержание Co в арсенопирите достигает 0.2–2.36 %. Ближе к поверхности количество арсенопирита уменьшается (от 5 до 0.5 %). При содержании As в арсенопирите 29–32.37 ат. %, его $T_{обр.}$ находится в интервале 300–430 °C: для более крупных кристаллов из обр. С-41/148.5 – ср. 420 °C, для зерен из С-29/90.3 – 365 °C, среднее по всем результатам – 385–390 °C.

Более мелкие (5–10 мкм) и поздние зерна кобальтина выделяются на границе ранних минералов. Кобальтин образует игольчатые кристаллы и содержит Co 27.39–31.92 %, Fe 3.67–4.15 %, иногда Cu. Кобальт сосредоточен преимущественно в этом минерале. Пирротин встречается редко, выделяется раньше сфалерита и халькопирита, тяготеет к нижним горизонтам залежи.

Сфалерит (3–30 %) имеет коричневый цвет, образует неправильные зерна, выделяется до халькопирита и иногда содержит его эмульсию. Все изученные сфалериты уч. Северо-Вожминского умеренножелезистые: Fe от 1.25 до 6.23 % и до 1.52–8.65 %, ср. Fe ~ 4 % (FeS = 6.8 мол. %). Такая железистость в 2 раза ниже, чем для колчеданных руд Карелии [Рыбаков, 1978]. Сфалерит содержит незначительное количество примесей Cu, Cd (до 0.15–0.22 %), Ag (0.01–0.21 %). Содержание Cu иногда достигает 8.51 %, что, вероятно, связано с микровключениями халькопирита.

Халькопирит образует мелкие аллотриоморфные зерна, секущие пирит, арсенопирит, по времени образования он близок сфалериту. Иногда в нем встречаются примеси Zn до 0.05 %, реже As и Ag. Борнит и дигенит в каймах вокруг него ($T_{уст.} < 83$ °C) образуются лишь в верхних горизонтах залежи, дигенит – в зоне окисления. Теннантит – достаточно редкий минерал для руд, он также замещается дигенитом.

Галенит и минералы системы (Bi-Ag-Pb-Cu)-(Se-S). Галенит образует мелкие кубические и неправильные зерна, выделяется после сфалерита и халькопирита. В своем

составе он иногда содержит Se до 2–6.41 %. В обр. С-250/101 в форме пластинок размером ~50 мкм установлен матильдит AgBiS_2 (его $T_{\text{уст.}} < 195^\circ\text{C}$). Достаточно широко в рудах распространены мелкие зерна (от 1 до 10–20 мкм) пластинчатых селенидов Bi (лайтакарит), Pb и Pb-Bi (клаусталит, вейбуллит), Ag, Ag-Bi (науманнит $T_{\text{уст.}} < 128^\circ\text{C}$, богдановичит AgBiSe_2), Se-галенит. При замещении анионов Se, S на Sb возникает изоморфизм, расширяющий состав минерала в сторону ряда кобеллита и очень редко встречаются единичные зерна антимонита, сам. серебра и акантита (С-29, 41). Удлиненные кристаллы богдановичита $\text{AgBi}(\text{Se},\text{S})_2$ замещаются виттихенитом Cu_3BiSe_3 и затем дигенитом $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$, при этом выпадает серебро. Богдановичит иногда находится в тонком сростании с науманнитом.

В карбонатном прожилке обр. С-41/191.8 обнаружены зерна очень редкого для таких руд минерала Ag-тетраауракуприта (Au 68.87 %, Cu 22.87 %) размером 6×8 мкм. Высокое содержание Ag (8.26 %) в минерале, вероятно, снижает температуру образования этого природного сплава ($T_{\text{уст.}} < 230^\circ\text{C}$). Его формулу можно записать как $(\text{AuAg})\text{Cu}$. В рудах из аксессуарных минералов наиболее широко распространены – ксенотим и карбонаты РЗЭ. Они выделяются в сростании с халькопиритом и позднее.

Другие проявления этого же формационного типа характеризуются даже более высокими концентрациями золота. Так, например, халькопирит-сфалерит-пиритовые руды в скважинах С-380, 386 проявления Камешки (данные А. В. Федюка, КГЭ) содержат Au до 2 г/т. На **проявлении Верхне-Вожминском** золото было обнаружено в халькопирит-пиритовых вкрапленно-прожилковых рудах, секущих вулканогенно-осадочную толщу и метабазальты в С-182 (гл. 166.5 м). Содержание сульфидов в рудах 10–70 % (халькопирит 50–70, пирит 10–30, остальные до 0.1–3). Количество Cu – 3.2 % (ср.), Au – 0.2–20 г/т. Руды включают пирит (иногда с примесью As до 0.52 %), халькопирит, маложелезистый сфалерит (Fe 2.33 %). При детальном их изучении были обнаружены мелкие зерна (размером 1–10 мкм), представленные Se-галенитом, науманнитом (Ag_2Se), клаусталитом (PbSe), тетраэдритом, сам. серебром, акантитом. В галените содержание Se достигает 3.6–4.79 %, в клаусталите присутствует Ag до 3.59–2.47 %.

Результаты микрозондовых исследований позволили уточнить химический состав золотосодержащих колчеданно-полиметаллических руд участков Северо- и Верхне-Вожминского Каменноозерской структуры, установить последовательность минералообразования, изучить изоморфизм рудных минералов и определить условия образования руд. Также в этих рудах были обнаружены новые для Карелии висмута-сульфо-селениды.

Литература

Бородаев Ю. С., Еремин Н. И., Мельников Ф. П., Старостин В. И. Лабораторные методы исследования минералов, руд и пород. М.: Изд-во Московского ун-та, 1988. 296 с.

Земная кора и металлогения юго-восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1983. 303 с.

Кулешевич Л. В., Белашев Б. З. Колчеданное оруденение Восточной Карелии (опыт изучения состава и электрофизических свойств пиритов) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 1998. С. 57–72.

Кулешевич Л. В., Белашев Б. З. Пирит как индикатор условий рудообразования в рудопоявлениях Восточной Карелии // Обогащение руд. № 2. 2003. С. 22–26.

Кулешевич Л. В., Фурман В. Н., Федюк З. Н. Перспективы золотоносности Каменноозерской структуры Сумозерско-Кенозерского зеленокаменного пояса // Геология и полезные ископаемые Карелии. П. 2005. Вып. 8. С. 50–67.

Кулешевич Л. В., Тытык В. М., Федюк З. Н. Золотоносность колчеданных руд Каменноозерской структуры (Восточная Карелия) // Записки РМО. № 6. 2006. С. 39–48.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Карелия. 2005. 280 с.

Рыбаков С. И. Серноколчеданные месторождения Карелии. Л.: Наука, 1978. 192 с.

Сазонов В. Н. Месторождения золота Урала. Екатеринбург, 2001. 621 с.