

Минералогия и металлогенические перспективы Иокирантских полиметаллических проявлений (Карелия, Приладожье)

Ивашченко В.И.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, ivashche@krc.karelia.ru

Аннотация. Детально охарактеризована минералогия рудопоявлений. Методами LA-ICP-MS анализа в сфалерите, галените, халькопирите и пирите определены средние содержания элементов-примесей, среди которых наиболее относительно высокие значения характерны для Au, Ag, Bi, Tl, Sb. Впервые для рудных объектов Карелии установлен Al-F титанит (гротит). Особенности его развития указывают на проявление позднего прогрессивного по температурным условиям процесса, потенциально способного к ремобилизации полиметаллических руд и формированию Au-Ag-сульфидного оруденения кварцево-жильного типа.

Ключевые слова: Карелия, Приладожье, Иокирантские рудопоявления, Al-F титанит (гротит), сфалерит, галенит, золото, серебро.

Mineralogy and metallogenic prospects of the Jokiranta base-metal occurrences, Karelia, Lake Ladoga Region (Priladozhye)

Ivashchenko V.I.

Institute of Geology, KarRC, RAS, Petrozavodsk, ivashche@krc.karelia.ru

Abstract. The mineralogy of the ore occurrences is described in detail. Average impurity element concentrations, in which the highest values are shown by Au, Ag, Bi, Tl and Sb, were estimated by La-ICP-MS methods for sphalerite, galena, chalcopyrite, and pyrite. Al-F titanite (grothite) was revealed in the Karelia ore occurrences for the first time. Its evolution pattern indicates a late process, which is prograde in terms of its temperature conditions and is capable of remobilizing base-metal ores and forming Au-Ag-sulphide mineralization of quartz veined type.

Keywords: Karelia, Priladozhye, Jokiranta ore occurrences, Al-F titanite (grothite), sphalerite, galena, gold, silver.

Иокирантские полиметаллические проявления (Иокиранта, Вайтасаари и др.) приурочены к СЗ обрамлению одноименного гнейсогранитного купола (рис. 1). Они представляют собой верхние уровни скарноворудной системы свекофеннских посторогенных (~1.8 млрд. лет) гранитоидов (Ивашченко, 1987). Полиметаллическое оруденение, сопровождающееся флюоритовой, баритовой и шелитовой минерализацией, сосредоточено в окварцованных эпидотизированных и амфиболизированных пироксеновых скарнах и серпентинизированных кальцифирах, образованных по карбонатным породам сортавальской серии, а также в более низкотемпературных метасоматитах (актинолит, хлорит, пренит, серицит, кварц), развивающихся по ним, и в кварцевых жилах.

Буровыми скважинами (Карельская ГЭ) крутопадающий (40-80° на запад) рудоносный горизонт прослежен по простиранию на 7 км до глубины 150-200 м. Его мощность на севере Иокирантской структуры составляет 60-70 м, на юге – 20-30 м. В пределах этого горизонта установлено 8 линзовидных рудных тел мощностью 5-10 м и протяженностью несколько десятков метров, в составе тел доминирует минеральная ассоциация кислотной стадии (кварц, серицит, карбонат, флюорит, барит, альбит) с реликтами измененных скарновых минералов и полиметаллическим оруденением. Встречаются гнезда (до 1.5×2.0 м) богатых руд с содержанием свинца и цинка > 10 %, вольфрама – до 0.6 %, золота – до 0.25 г/т, а также линзовидно-жильные обособления мощностью до 1 м кварц-флюоритового или баритового состава, в которых сульфиды сосредоточены только в зальбандах. В районе плотины на р. Китенъйоки известна субсогласная мономинеральная баритовая жила мощностью 0.5-1 м, приуроченная к контактовой зоне купольных гнейсогранитов и амфиболовых сланцев сортавальской серии. Барит содержит около 2 % Sr. Амфиболовые сланцы вблизи жилы обильно минерализованы сульфидами, содержат шеелит, а на удалении в 20-30 м пересекаются многочисленными зонами окварцевания, милонитизации и диафтореза.

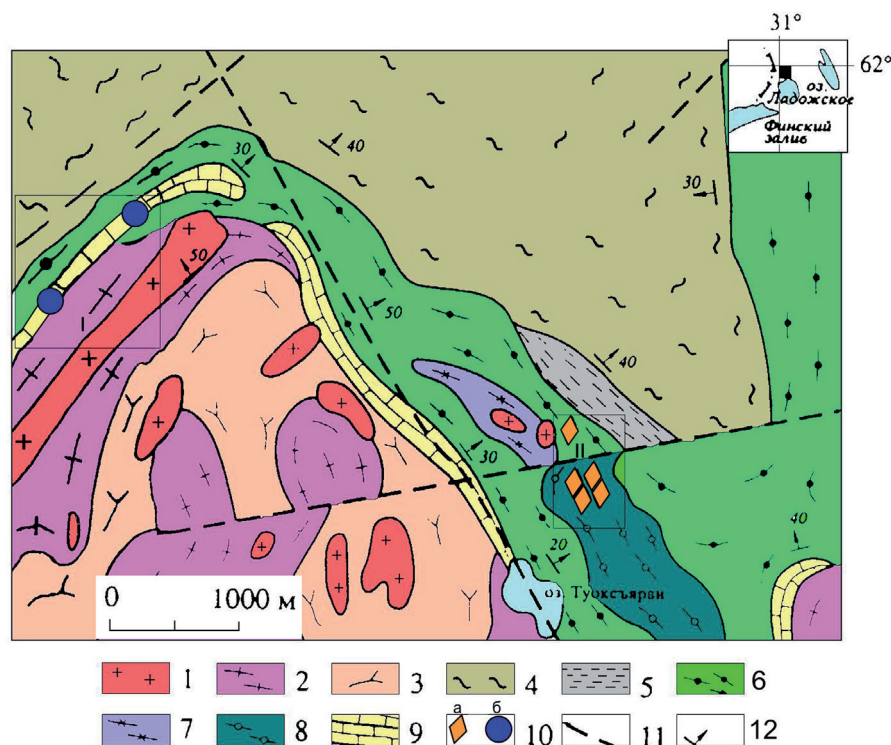


Рис. 1. Схема геологического строения северной части Йокирантского гнейсогранитного купола.

1 – плагиомикроклиновые граниты; 2 – гнейсограниты и мигматиты по вулканогенно-терригенным образованиям сортавальской и ладожской серий; 3 – мигматиты по основным вулканитам сортавальской серии; 4 – гранат- и андалузитсодержащие кварц-биотитовые сланцы с прослоями кварцитопесчаников (ладожская серия); 5-9 – сортавальская серия: 5 – графитсодержащие кварц-слюдистые и амфиболовые сланцы, 6 – амфиболовые сланцы и полевошпатовые амфиболиты с прослоями кварц-слюдистых сланцев, 7 – плагиофировые базальты и амфиболовые сланцы по ним, 8 – шаровые лавы базальтов, 9 – мраморизованные и скарнированные карбонатные породы, скарны с прослоями сланцев; 10 – рудопроявления: а – редкометальные пегматиты Туоксъярви, б – Йокирантские полиметаллические; 11 – тектонические нарушения; 12 – элементы залегания (сланцеватости) пород.

Fig. 1. Scheme showing the geological structure of the northern Jokiranta gneissose-granite dome.

1 – plagiomicrocline granites; 2 – gneissose-granites and migmatites after the Sortavala and Ladoga Series volcanogenic-terrigenous rocks; 3 – migmatites after mafic volcanics (Sortavala Series); 4 – garnet- and andalusite-bearing quartz-biotite schists with quartzitic-sandstone interbeds (Ladoga Series); 5-9 – Sortavala Series: 5 – graphite-bearing quartz-mica and amphibole schists, 6 – amphibole schists and feldspathic amphibolites with quartz-mica schist interbeds, 7 – plagiophyric basalts and amphibole schists after them, 8 – basaltic pillow lava, 9 – marbled and skarned carbonate rocks, skarns with schist intercalations; 10 – ore occurrences: a – Tuoksjärvi rare-metal pegmatites, b – Jokiranta base-metal occurrences; 11 – tectonic dislocations; 12 – mode of occurrence of (schistosity) rocks.

По результатам геолого-разведочных работ, выполненных Карельской ГЭ в семидесятые годы прошлого века, прогнозные ресурсы Йокирантских проявлений составили для цинка 64700 т, для свинца 54715 т. Рудопроявления признаны неперспективными.

На современном этапе исследований, проведенных в аналитическом центре ИГ КарНЦ РАН с использованием квадрупольного масс-спектрометра X-SERIES 2 Terhmo Scientific, сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350, приставки лазерной абляции UP-266 Macro (New Wave Research) к квадрупольному масс-спектрометру X-SERIES 2 Terhmo Scientific, получены прецизионные минералого-геохимические данные по рудным метасоматитам Йокирантских проявлений, раскрывающие их новые металлогенные перспективы.

В минеральном составе рудовмещающих пород Йокирантских проявлений доминируют кварц, кальцит, ферригастингсит, актинолит, хлорит, менее распространены – флюорит, анкерит, цинк-мусковит и др. (табл. 1). Главными рудными минералами являются сфалерит и галенит, второстепенными – халькопирит, пирит, пирротин и др. (табл. 1).

Таблица 1. Видовой минеральный состав Йокирантских полиметаллических проявлений.

Table 1. Mineral composition of the Jokiranta base-metal occurrences.

Главные рудные минералы
Сфалерит ($Zn_{0.81-0.98}Fe_{0.02-0.19}$), галенит
Второстепенные рудные и акцессорные минералы
Халькопирит, пирит, пирротин, борнит, халькозин, кубанит, магнетит, шеелит, зейрегит, барит (Sr 2 %), молибденит, виллемит, цинкозит, англезит, церуссит, цинкохромит, массивот, гидрогетит, серебро и висмут самородные, гротит (Al 4-4.6 %, F 3.1-3.6 %), апатит (F до 4.6 %), торит.
Минералы рудовмещающих пород
Кварц, кальцит, актинолит (mg# 0.4-0.5), Fe-гастингсит (mg# 0.2-0.5, Cl 0.67 %), эпидот (f 0.10-0.15), диопсид, анкерит, хлорит (mg# 0.4-0.5), калиевый полевой шпат, флюорит, пренит, серицит, цинк-мусковит (Zn до 7 %)

Галенит и сфалерит представлены несколькими генерациями. Сфалерит-I (Fe ~9 %) – темно-коричневый до черного встречается в виде кристаллически-зернистых агрегатов с характерной спайностью. Он рассекается прожилками более светло окрашенного (коричневого) сфалерита-II и галенита. Сфалерит-III (Fe < 2 %) – светло-желтый мелкокристаллический образует рассеянную вкрапленность и микропрожилки. По содержанию элементов-примесей сфалериты разных генераций отличаются несущественно, но наиболее важными в металлогеническом аспекте элементами (Au, Ag, In) обогащен сфалерит-II (табл. 2).

Таблица 2. Средние содержания (г/т) элементов-примесей в главных рудных минералах Йокирантских проявлений (LA-ICP-MS анализ).

Table 2. Average impurity element concentrations (g/t) in major ore minerals from the Jokiranta occurrences (LA-ICP-MS analysis).

Элементы	Сфалерит-2 16 ан.	Галенит-1 8 ан.	Халькопирит 9 ан.	Пирит 13 ан.
Mn	335.5	194.5	72.6	80.2
Co	1348.9	263.5	901.1	327.9
Ni	100.48	94.4	46.6	92.3
Cu	25.2	77.8	> 30 %	71.7
Zn	> 50 %	1839.0	129.8	16.8
Ga	15.1	13.6	15.9	19.9
Ge	39.5	27.7	22.8	25.1
As	63.2	84.2	255.6	205.0
Ag	9.2	827.4	21.6	9.8
Cd	21197.5	210.9	31.7	18.2
In	27.0	12.9	6.2	5.3
Sn	7.6	11.3	49.4	47.3
Sb	3.8	494.0	3.2	4.0
Te	2.9	67.4	10.8	5.6
Au	0.4	7.4	1.1	0.6
Tl	2.0	189.5	5.2	2.3
Pb	11713.2	> 80 %	47.7	35.9
Bi	3.5	2374.4	0.7	0.6

Галенит-1 – крупнокристаллический (до 1 см), образует линзовидно-прожилковидные обособления мощностью 2-8 см, в которых сфалерит практически отсутствует. Галенит-2 слагает тонкие (до 0.1 мм) каймы вокруг зерен сфалерита-1.

По результатам LA-ICP-MS анализа в сфалерите-2, галените-1, халькопирите и пирите установлены повышенные и высокие средние содержания ряда рудных элементов (табл. 2). Наиболее характерными для сфалерита являются Cd (2 %), In (27 г/т), Co (1349 г/т); для галенита – Ag (827 г/т), Au (7.4 г/т), Bi (2374 г/т), Sb (494 г/т), Tl (190 г/т); для халькопирита и пирита – Au 1.1, 0.6 г/т и Ag 21.6, 9.8 г/т.

Среди второстепенных рудных минералов Йокирантских проявлений наиболее важное генетическое значение имеют серебро и висмут самородные и гротит - титанит с высокими концентрациями Al и F (первая находка в рудных объектах Карелии).

Впервые гротит был установлен в высокобарных (до 30 кбар) метаморфических породах (Franz, Spear, 1985) и некоторое время считался минералом-индикатором проявления высоких давлений. Однако впоследствии он был обнаружен в разнообразных по условиям формирования породах, в том числе низкобарных – в гранитах и апоскарновых грейзенах (Enami et al., 1993), в метасоматитах золоторудных месторождений (Вах и др., 2009), а нижний температурный уровень его образования хотя и не определен однозначно, но большинством исследователей (Enami et al., 1993; Вах и др., 2009; Авченко и др., 2012 и др.) оценивается около 400 °С. При этом основным фактором, обуславливающим образование гротита в различных минеральных ассоциациях считается активность фтора минералообразующего флюида (Авченко и др., 2012).

Гротит в рудах Йокирантских проявлений образует отдельные линзовидные зерна размерностью от 20-30 мкм до 1-2 мм. Он не является продуктом замещения титансодержащих минералов, а особенности его выделения отчетливо указывают на его наложенный характер. Гротит образовался после хлорита (рис. 2 А), халькопирита и сфалерита первой и второй генераций (рис. 2 Б). Местами он ассоциирует с калиевым полевым шпатом и Zn-мусковитом (рис. 2 В). Содержания Al и F в нем изменяются незначительно (табл. 3).

Согласно хлоритовому (Bourdelle et al., 2013) и Ga/Ge сфалеритовому (Moller, 1985) геотермометрам завершающая стадия формирования полиметаллического оруденения на Йокирантских проявлениях происходила при температуре 135-190 °С, то есть значительно ниже температурных условий образования гротита, развивавшегося отчетливо позже хлорита и сфалерита первой и второй ге-

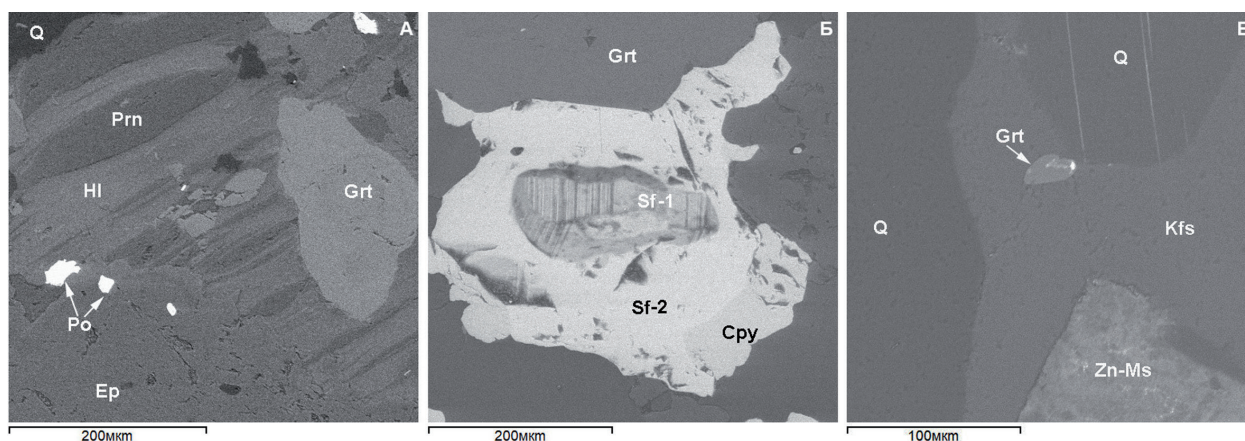


Рис. 2. Формы выделения и минеральные ассоциации гротита в полиметаллических рудах Йокирантских проявлений. BSE-фото. Сру – халькопирит, Ep – эпидот, Grt – гротит, Hl – хлорит, Kfs – калиевый полево шпат, Q – кварц, Po – пирротин, Prn – пренит, Sf – сфалерит, Zn-Ms – цинк-мусковит.

Fig. 2. Forms of grothite aggregates and mineral grothite associations in base-metal ores from the Jokiranta occurrences. BSE-photo. Cpy – chalcopyrite, Ep – epidote, Grt – grothite, Hl – chlorite, Kfs – K-potassium feldspar, Q – quartz, Po – pyrrhotite, Prn – prehnite, Sf – sphalerite, Zn-Ms – zinc-muscovite.

нераций (рис. 2 А, Б). Это, вероятно, свидетельствует о двухэтапном формировании рассматриваемых рудопроявлений, по сути, об их полихронно-полигенном происхождении.

Таблица. 3. Химический состав (масс. %) гротита из рудных метасоматитов Йокирантских проявлений.

Table 3. Chemical composition (wt. %) of grothite from the Jokiranta metasomatic rocks.

Компоненты	7390b/9-1	7390b/12-5	7397j/5-2	7390d/4-1
CaO	30.01	27.94	28.28	27.56
Al ₂ O ₃	8.22	7.66	8.97	8.90
TiO ₂	27.11	29.90	27.70	28.73
SiO ₂	32.85	32.48	33.02	32,41
F	3.09	3.55	3.38	3.16
сумма	101.28	101.53	101.35	100.76
-O=F ₂	1.30	1.49	1.42	1.33
сумма	99.98	100,04	99.93	99.43
Кристаллохимические коэффициенты				
Ca	1.14	1.06	1.07	1.05
Al	0.31	0.29	0.34	0.33
Ti	0.65	0.72	0.66	0.68
Si	1.04	1.03	1.04	1.03
F	0.31	0.36	0.34	0.32
ОН	0.69	0.64	0.66	0.68
O	4.16	4.12	4.16	4.12

Следовательно, после образования полиметаллического оруденения в обрамлении Йокирантского гнейсогранитного купола был проявлен прогрессивный по температурным условиям процесс, потенциально способный к ремобилизации руд и формированию Au-Ag-сульфидной минерализации кварцево-жильного типа, как в пределах разведывавшегося ранее рудного горизонта, так и во вмещающих его карбонатных породах и амфиболовых и графитсодержащих сланцах. Сходная позиция золотого оруденения с участием гротита установлена на Березитовом месторождении на Дальнем Востоке (Вах и др., 2009; Авченко и др., 2012).

Работа выполнена в рамках темы НИР № АААА-А18-118020290175-2.

Литература

1. Авченко О.В., Вах А.С., Чудненко К.В., Шарова О.И. Физико-химические условия образования Al-F сфена в рудно-метасоматических породах Березитового месторождения // *Геохимия*. 2012. № 5. С. 453–469.
2. Вах А.С., Авченко О.В., Карабцов А.А., Степанов В.А. Первая находка гротита в золоторудных месторождениях // *Докл. РАН*. 2009. Т. 428. № 3. С. 353–357.
3. Ивашенко В.И. Скарновое оруденение олова и вольфрама южной части Балтийского щита (минералогия, петрография, генезис). Л. Изд-во: Наука. 1987. 240 С.
4. Bourdelle F., Parra T., Chopin C., Beyssac O. A new chlorite geothermometer for diagenetic to low-grade metamorphic conditions // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2013. V. 165. P. 723–735.
5. Enami M., Susuki K., Liou J.G., Bird D.K. Al-Fe³⁺ and F-OH substitutions in titanite and constrains on their P-T dependence // *Eur. J. Mineral.* 1993. V. 5. P. 219–231.
6. Franz G., Spear F. Aluminous titanite (sphene) from the eclogite zone South-Central Tauern Window Austria // *Chem. Geol.* 1985. V. 50. № 1/3. P. 33–46.
7. Moller P. Development and Application of the Ga/Ge-Geothermometer for sphalerite from sediment-hosted deposits // *Monograph Series on Mineral Deposits 25*. Gebruder Borntraeger, Berlin-Stuttgart: 1985. P. 15-30.