

УДК 553.411.071:553.22 [553.065+553.078+553.087]

ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЕ ОРУДЕНЕНИЕ АРХЕЯ КОЙКАРСКОЙ СТРУКТУРЫ: ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ, МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ

В. И. Иващенко, А. И. Голубев, М. М. Ибрагимов, А. Е. Ромашкин

Институт геологии Карельского научного центра РАН

Приведены оригинальные результаты прецизионных минералого-геохимических исследований золотосодержащего оруденения архея Койкарской структуры, приуроченного к Койкарско-Выгозерской региональной сдвиговой зоне. Охарактеризованы метасоматиты (березиты, хлоритовые пропилиты с маргаритом) и рудные ассоциации проявления «Карьер Койкары», включающие > 60 минералов – сульфиды, сульфоарсениды, висмутотеллуриды, Pb-Sb-сульфосоли, самородные металлы. Благогороднометалльная минерализация представлена золотом самородным, электрумом, кюстелитом, аргентопентландитом, овихиитом, гесситом, штюццитом, акантитом, матильдитом, тетраэдритом, Ag-галенитом. Определены условия образования благороднометалльного проявления и обоснована его принадлежность к орогенному мезотермальному типу с атипичной металлической ассоциацией. По ряду критериев проявление «Карьер Койкары» характеризуется как малоперспективное на золото. В совокупности с установленной благороднометалльной минерализацией в Койкарских колчеданных рудах (электрум, гессит, акантит, сульфоарсениды) оно представляется в качестве комплексного положительного признака потенциальной золотосодержимости Койкарско-Выгозерской сдвиговой зоны в целом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Ведлозерско-Сегозерский архейский зеленокаменный пояс, Койкарская структура, золотосодержащее проявление «Карьер Койкары», Койкарское колчеданное проявление, сдвиговая зона, орогенный мезотермальный тип оруденения, золото, серебро, березиты, пропилиты, маргарит.

V. I. Ivashchenko, A. I. Golubev, M. M. Ibragimov, A. E. Romashkin. ARCHEAN AURIFEROUS MINERALIZATION OF THE KOIKARY STRUCTURE: GENETIC TYPIFICATION, MINERAL ASSEMBLAGES, FORMATION CONDITIONS, AND PERSPECTIVES

The original results of the high-precision mineralogical and geochemical study of the Archean auriferous mineralization of the Koikary structure, confined to the Koikary-Vygozero regional shear zone, are reported. The metasomatic rocks (beresites and chloritic propylites with margarite) and ore assemblages of the Koikary Quarry occurrence, which comprise over 60 minerals, such as sulphides, sulphoarsenides, bismuthotellurides, Pb-Sb-sulphosalts and native metals, are described. Noble-metal mineralization is represented by native gold, electrum, küstelite, argentopentlandite, owyheeite, hessite, stuetzite, acanthite, matildite, tetrahedite and Ag-galena. The conditions of formation of the noble-metal mineralization were determined, the mineralization was classified to be of the orogenic mesothermal type with an atypical mineral assemblage, and arguments for that were presented. The Koikary Quarry occurrence was assessed as little promising for gold, based on some criteria. Together with the noble-metal mineralization determined in Koikary pyrite ores (electrum, hessite,

acanthite and sulphoarsenides), it is considered a complex positive sign of the gold potential of the Koikary-Vygozero shear zone in general.

Key words: Archean Vedlozero-Segozero greenstone belt, Koikary structure, Koikary Quarry auriferous occurrences, Koikary pyrite, shear zone, orogenic mesothermal type of mineralization, gold, silver, beresites, propylites, margarite.

Введение

Койкарская структура является частью Ведлозерско-Сегозерского архейского зеленокаменного пояса и представляет собой антиклиналь с крутыми углами падения, перекрывающуюся палеопротерозойскими вулканогенно-осадочными комплексами [Харитонов, 1966; Робонен и др., 1978; Светова, 1988]. Ядро антиклинали сложено высокомагнезиальными базальтами, коматиитами со спинифекс-структурами и прослоями основных туфов, сменяемыми выше по разрезу подушечными и массивными толеитовыми базальтами с граувакковой засыпкой и гиалокластитами, валунно-галечными конгломератами, кислыми туфами, туфопесчаниками, силицитами, графитистыми сланцами с прослоями доломитов и граувакк [Светов и др., 2003, 2005]. Архейские толщи прорываются дай-

ками лопийских дацитов-риодацитов (~2860 млн лет), ятулийских габбро и людиковийским силлом габбродолеритов [Светов и др., 2005].

В восточной части Койкарской структуры проходит Койкарско-Выгозерская региональная сдвиговая зона [Колодяжный, 2006; Онежская палеопротерозойская структура..., 2011], осложненная сдвиговыми дислокациями более низкого порядка. В ее пределах локализованы рудопоявления – Койкарское колчеданное, золотосодержащее «Карьер Койкары» (рис. 1), а также орогенное мезотермальное месторождение золота Педролампи и ряд золоторудных объектов на Эльмусской площади.

Койкарское колчеданное проявление расположено на северо-востоке одноименной структуры в верхней части ее разреза [Егорова и др., 1952] (см. рис. 1). Оно представлено субмеридиональной рудной зоной протяженностью

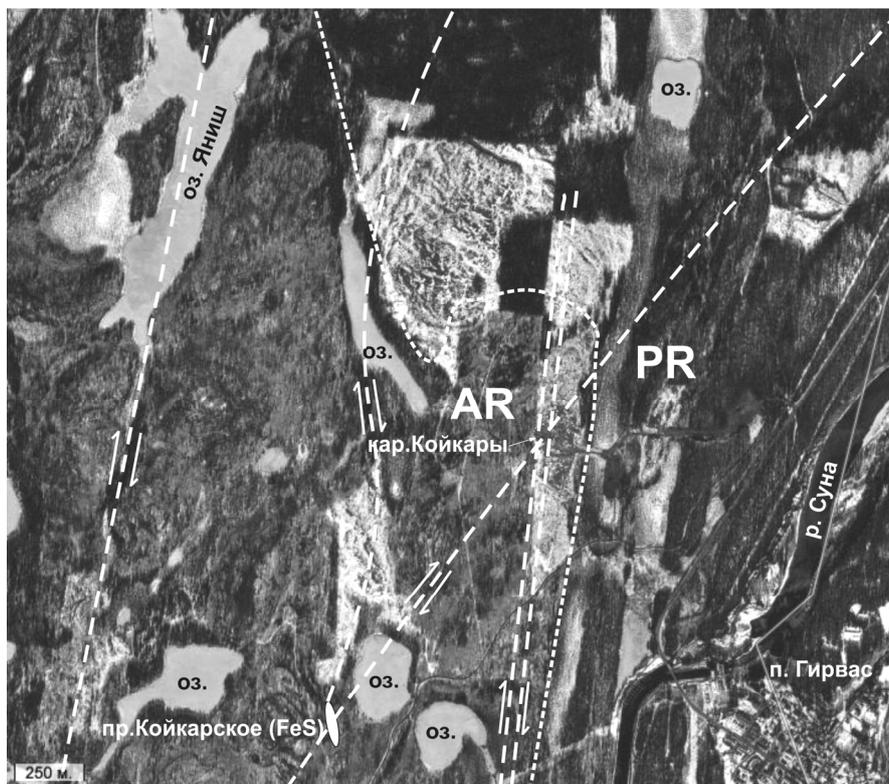


Рис. 1. Схема расположения рудопоявлений и сдвиговых зон в северо-восточной части Койкарской структуры, с использованием данных [Колодяжный, 2006]; основа – космоснимок virtual earth, <http://sasgis.ru> (дата обращения: 11.02.2013)

~140 м и шириной ~20 м с несколькими согласными крутопадающими пластообразными телами (мощность до 6,25 м) пиритовых руд с незначительным содержанием пирротина. Среднее содержание серы в рудах составляет 31,05 %, запасы руды – 8859 тыс. т, прогнозные ресурсы – 15100 тыс. т, содержание золота – до 0,06 г/т [Леонтьев и др., 2003]. Вмещающими оруденные породы являются хлоритовые, биотит-хлоритовые, амфибол-биотит-хлоритовые сланцы, местами с кварцем, альбитом, кальцитом, эпидотом, образованные, вероятно, по туфогенному субстрату средне-основного состава.

В этой же части структуры, вблизи контакта лопийской вулканогенно-осадочной толщи с ятулийскими базальтами (см. рис. 1) было выявлено и исследовалось в 2010–2011 гг. при вы-

полнении проекта «Металлогения и оценка перспектив Карельского региона на крупные комплексные благороднометалльные месторождения» по программе № 24 Президиума РАН [Иващенко, Голубев, 2011; Щипцов и др., 2012; Иващенко и др., 2012] проявление «Карьер Койкары» (62°29'30,4''N, 33°39'41,7''E). Параллельно оно изучалось также О. Б. Лавровым и Л. В. Кулешевич [2012], сделавшими выводы о его достаточно высокой перспективности на золото.

Золотосодержащая рудная минерализация проявления «Карьер Койкары»

Золотосодержащее проявление «Карьер Койкары» расположено в 1,2 км к северо-западу от Гирвасской ГЭС (см. рис. 1), вскрываясь

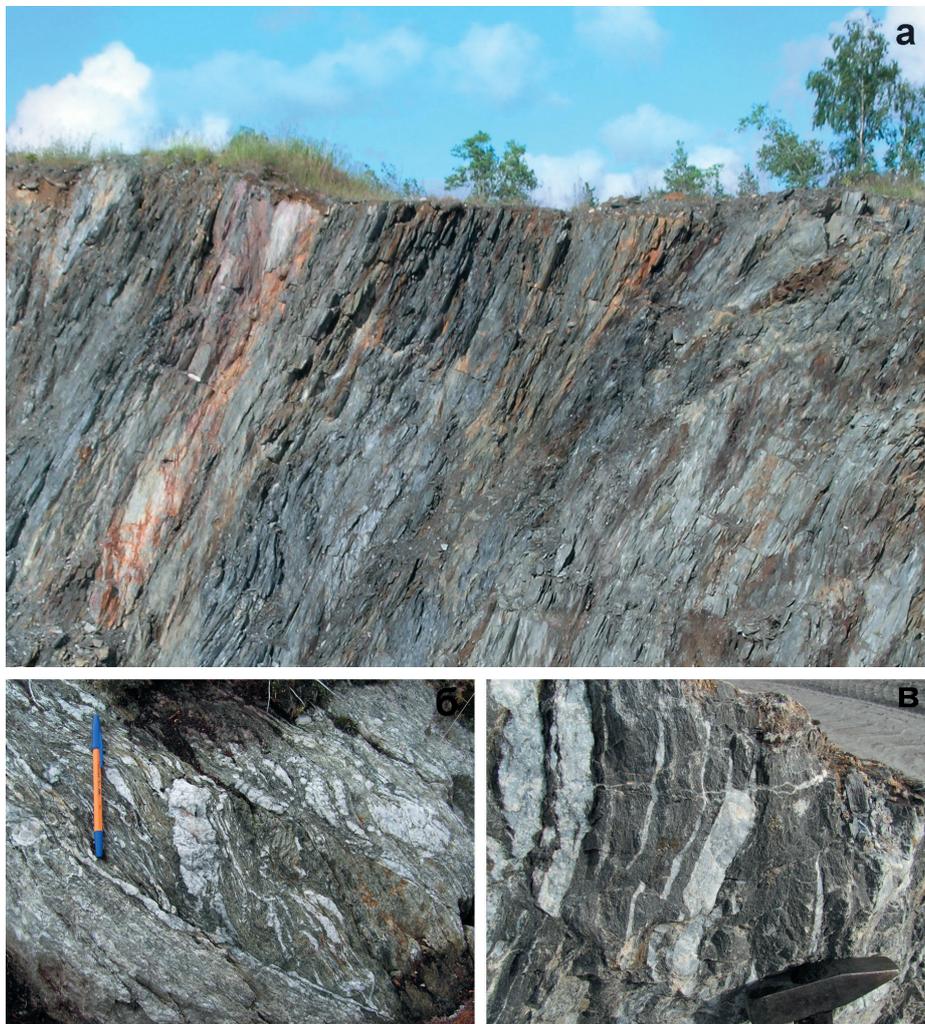


Рис. 2. Золотосодержащие метасоматиты проявления «Карьер Койкары»: а – общий вид метасоматически преобразованной вулканогенно-терригенной толщи (восточная стенка карьера); б, в – характерные проявления сдвиговых деформаций и гидротермально-метасоматической проработки на проявлении (б – объемное прожилковидное прокварцевание с линзовидно-кулисообразным расположением карбонатно-кварцевых обособлений, в – разнонаправленные полистадийные сдвиговые деформации, сопровождающиеся прокварцеванием и сульфидизацией)

карьером по добыче кровельных сланцев ООО «Карелминерал». В карьере и примыкающих к нему обнажениях представлена верхняя часть лопийского разреза Койкарской структуры – в различной степени метасоматически измененные и подвергшиеся сдвиговым деформациям нескольких направлений на микро- и макроуровнях [Колодяжный, 2006] (рис. 2) силициты(?), граувакки, карбонатно-кремнистые породы вплоть до доломитов, слюдисто-полевошпатовые, слюдисто-хлоритовые, карбонат-слюдисто-хлоритовые и др. сланцы. Вероятно, они относятся к выделяемой [Светова, Рыбаков, 1987] вулканогенно-терригенной толще, завершающей разрез лопия в этой структуре.

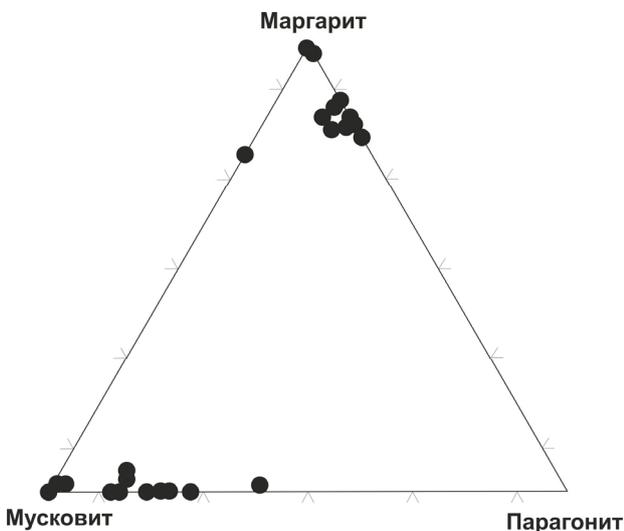


Рис. 3. Состав светлых слюд из золотосодержащих метасоматитов проявления «Карьер Койкары». Мусковит – $KAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$, парагонит – $NaAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$, маргарит – $CaAl_2Al_2Si_2O_{10}(OH)_2$. Содержание фенгитового компонента – до 5 %, в единичных определениях – 20–50 %

Все породы интенсивно рассланцованы, местами смяты и брекчированы, изредка в них проявлена плейчатость. Выделяется три генерализованных направления сланцеватости – 320–330° (субвертикальное), 50–70° (субвертикальное и с падением на СЗ, \angle 60–70°) и 30–40° (субвертикальное и с падением на СЗ, \angle 70–80°). Преимущественно согласно сланцеватости в них проявлено объемное прожилковидное прокварцевание местами с линзовидно-кулисообразным расположением карбонатно-кварцевых обособлений и развитием карбонат-кварцевых просечек, сопровождающихся пиритовой минерализацией. Отмечаются также секущие сланцеватость субвертикальные сульфидсодержащие карбонат-кварцевые жилы мощностью до 0,6 м северо-западного и северо-восточного простирания.

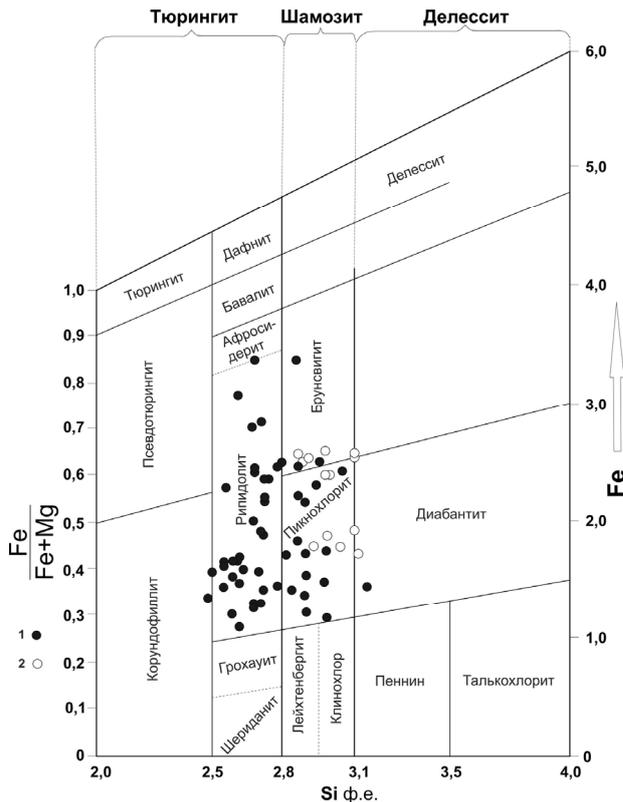


Рис. 4. Состав хлоритов из золотосодержащих метасоматитов проявления «Карьер Койкары» (1) и Койкарского колчеданного месторождения (2); основа по [Дир и др., 1966]

Деформационные и гидротермально-метасоматические преобразования пород прослеживаются в субмеридиональном направлении и, вероятно, контролируются сдвиговыми дислокациями соответствующего простирания. Мощность зоны этих изменений составляет 40–50 м. Фоновый характер метасоматических преобразований в пределах зоны, связанный с диффузионными процессами, однотипен, отвечая преимущественно промежуточной фации между березитами и хлоритовыми пропилитами, что обуславливается, по-видимому, неоднородным, пестрым по составу строением разреза. Местами встречаются зонки классических березитов (кварц-серицит-альбит-карбонат) и кварц-хлоритовых пропилитов, формирующихся в процессе инфильтрационного метасоматоза. Достаточно широко распространены также березитоиды, в которых светлая слюда представлена маргаритом (рис. 3, табл. 1) или промежуточными фазами ряда мусковит-маргарит, мусковит-маргарит-парагонит с незначительным содержанием фенгитового компонента. Изредка наблюдаются метасоматические оторочки вокруг карбонат-кварцевых жил, изофациальные фоновым ме-

Таблица 1. Химический состав маргарита из метасоматитов проявления «Карьер Койкары»

№	K7-7-4	K12-13-3	K24-4-3	K24-7-1	K24-4-1	K13-3-2	K24-4-2	K11-3-3	K24-7-9	K12-7-3	K12-12-2
SiO ₂	49,48	44,88	33,52	34,51	33,38	34,23	35,27	37,36	34,97	35,42	39,69
Al ₂ O ₃	39,81	44,04	45,42	45,66	45,56	44,34	45,71	47,38	45,91	48,37	49,13
CaO	7,99	8,55	9,09	9,11	9,56	9,64	9,67	10,12	10,38	10,44	11,19
Na ₂ O		2,53	1,87	2,11	1,75	1,34	2,02	1,34	2,17		
K ₂ O	2,19		0,61		0,38	0,90	0,30				
Σ	99,47	100,00	90,52	91,39	92,89	90,45	92,97	96,10	93,44	94,23	100,00
Формульные коэффициенты											
Si ⁴⁺	3,54	3,24	2,71	2,77	2,63	2,75	2,77	2,85	2,73	2,78	2,91
Al ³⁺	2,61	2,87	3,27	3,28	3,23	3,20	3,21	3,21	3,21	3,35	3,21
Ca ²⁺	0,64	0,67	0,78	0,77	0,79	0,82	0,81	0,82	0,86	0,87	0,88
Na ¹⁺		0,22	0,18	0,20	0,17	0,13	0,19	0,12	0,20		
K ¹⁺	0,21		0,06		0,04	0,09	0,03				

Примечание. В ан. № K24-4-1 – опр. TiO₂ – 2,26 %.

тасоматитам. В целом строение и состав метасоматически преобразованной толщи пород в пределах сдвиговой зоны усложняется наличием унаследованных метаморфических минеральных ассоциаций, также изофациальных с более поздними метасоматитами. Главными породообразующими минералами в ее пределах являются кварц, хлорит, серицит, маргарит, кальцит, доломит; второстепенными – анкерит, сидерит; редкими – K-Na полевой шпат, альбит, олигоклаз, биотит. Хлорит в метасоматитах представлен преимущественно рипидолитом и пикнохлоритом (рис. 4), карбонат – кальцитом, доломитом, анкеритом и сидеритом (рис. 5).

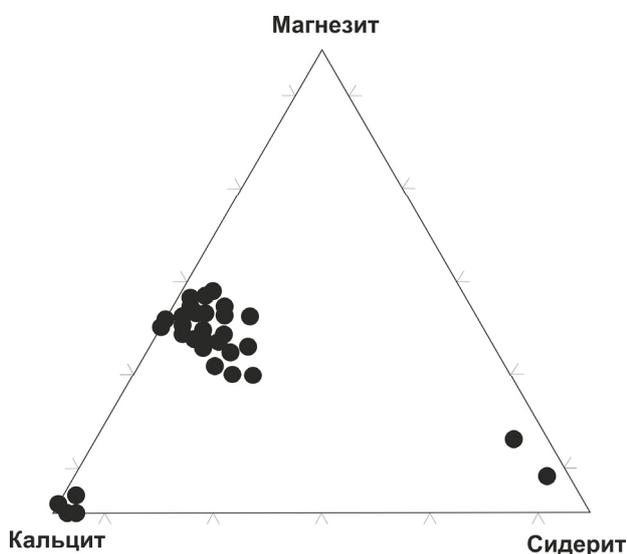


Рис. 5. Состав карбонатов из золотосодержащих метасоматитов проявления «Карьер Койкары». Содержание родохрозитового минерала – до 5 %

Рудная минерализация, условно подразделяемая на несколько последовательно образующихся ассоциаций, чрезвычайно многообразна – более 60 минералов (табл. 2).

Морфология выделений и взаимоотношения большинства рудных минералов разнообразны и неоднозначны в генетическом аспекте, что в принципе присуще в целом для рудной минерализации в метасоматитах сдвиговых зон, отражая неравномерное пульсационное просачивание флюидов и в совокупности являясь одной из характернейших черт гидротермально-метасоматических преобразований в таких зонах [Русинов, 2005].

Доминирующая в исследуемых метасоматитах пирротин-пиритовая минеральная ассоциация представлена вкрапленным, гнездово-вкрапленным, желваковым, прожилковым и жильным типами. Размер желваков и идиоморфных кристаллов пирита в метасоматитах достигает 3–5 см. Местами в нем повышено содержание Co (3,20–10,25 %) и As (3,09–8,62 %). Пирротин в этой ассоциации является второстепенным минералом, встречающийся в виде включений (10–100 мкм) в пирите и более крупных самостоятельных выделений (до 1 мм), содержащих в свою очередь микробобособления пирита. Пирротин-пиритовая ассоциация, сопровождающаяся Ni-Co-сульфоарсенидами (рис. 6), пентландитом и широким спектром других сульфидов Ni-Co-Fe-Cu (рис. 7), – наиболее ранняя. Ni-Co-сульфоарсениды представлены почти непрерывным изоморфным рядом кобальтин-герсдорфит (см. рис. 6). Кобальтин встречается в виде субидиоморфных зерен в сфалерите (рис. 8, в), явно корродируемых им; в ассоциации с ранним Co- и As-содержащим пиритом, нарастая на его грани (рис. 8, б) или слагая внешнюю идиоморфную зону на его кристаллах (рис. 8, а); отмечается также в сростках с пиритом, галенитом и пентландитом (рис. 8, е) и отдельных обособлениях в кварц-серицит-хлоритовых агрегатах (рис. 8, д). Герсдорфит обычно находится совместно с никелевыми сульфидами (рис. 8, г).

Таблица 2. Минералы рудопроявления «Карьер Койкары»

	Главные	Второстепенные	Редкие	Благородных металлов
Рудные	Пирит FeS_2	Пирротин $Fe_{1-x}S$	Флетчерит $Cu(Ni, Co)_2S_4$	Золото Au
	Халькопирит $CuFeS_2$	Со-пирит $(Fe, Co)S_2$	Fe-флетчерит	Электрум $Au_{0,7-0,3}Ag_{0,3-0,7}$
	Сфалерит $(Zn, Fe)S$	As-пирит $Fe(As, S)_2$	Си-виоларит $(Fe, Cu)Ni_2S_4$	Кюстелит* Ag_3Au
	Галенит PbS	Ni-пирит $(Fe, Ni)S_2$	Зигенит $(CoNi)_3S_4$	Гессит Ag_2Te
		Герсдорфит $NiAsS$	Хороманит $Fe_6Ni_3S_8$	Штютцит Ag_5Te_3
		Кобальтин $CoAsS$	Талнахит $Cu_9(Fe, Ni)_8S_{16}$	Акантит Ag_2S
		Глаукодот $(Fe, Co)AsS$	Вилламанит $(Cu, Ni, Co, Fe)S_2$	Матильдит* $AgBiS_2$
		Пентландит $Ni_5Fe_4S_8$	Шандит $Ni_3Pb_2S_2$	Ag-тетраэдрит* $(Cu, Ag)_{12}Sb_4S_{13}$
		Арсенопирит $FeAsS$	Паркерит $Bi_2Ni_3S_2$	Овихиит $Pb_7Ag_2(Sb, Bi)_8S_{20}$
		Миллерит NiS	Чилуит $Bi_6Te_2Mo_2O_{21}$	Аргентопентландит $AgFe_5Ni_3S_8$
		Милерит с U, Co, Pt	Раклиджит $(Bi, Pb)_3Te_4$	Ag-галенит $(Pb, Ag)S$
		Ульманнит $NiSbS$	Цумоит $BiTe$	Брэггит $(Pt, Pd, Ni)S$
		As-ульманнит $NiSb(As, S)$	Теллуросмисмутит Bi_2Te_3	
		Виоларит $FeNi_2S_4$	Гриноцит CdS	
		Ковеллин CuS	Клаусталит $PbSe$	
		Ni-ковеллин $(Ni, Cu)S$	Se-галенит $Pb(S, Se)$	
		Борнит Cu_5FeS_4	Клейофан ZnS	
		Гематит Fe_2O_3	Фалькманит* $Pb_3Sb_2S_6$	
		Монацит $(Ce, La, Nd)PO_4$	Фаматинит Cu_3SbS_4	
			Менегенит* $Pb_{13}CuSb_7S_{24}$	
		Кобеллит* $Pb_{22}Cu_4(Bi, Sb)_{30}S_{69}$		
		Тучекит* $Ni_9Sb_2S_8$		
		Гаухекорнит* $Ni_3(Bi, Sb)_2S_8$		
		Киноварь* HgS		
		Молибденит MoS_2		
		Висмут самород.		
		Медь самород.		
		Кадмий самород.*		
		Zn-медь		
		Ni-железо		

Породообразующие минералы: главные – кварц, хлорит (рипидолит, пикнохлорит), маргарит, серицит, кальцит, доломит; второстепенные – анкерит, сидерит; редкие – K-Na полевой шпат, альбит, олигоклаз, биотит

Акцессорные минералы: рутил, апатит, циркон, бадделейт, ксенотим, паризит, синчезит, бастнезит, церианит, уранинит, торит, торианит

Гипергенные минералы: гетит, гидрогетит, Ni-Sb-гидроокислы, церуссит, англезит, смитсонит, барит, ярозит, креднерит, медная зелень, сильвин(?)

Примечание. * – по [Лавров, Кулешевич, 2012].

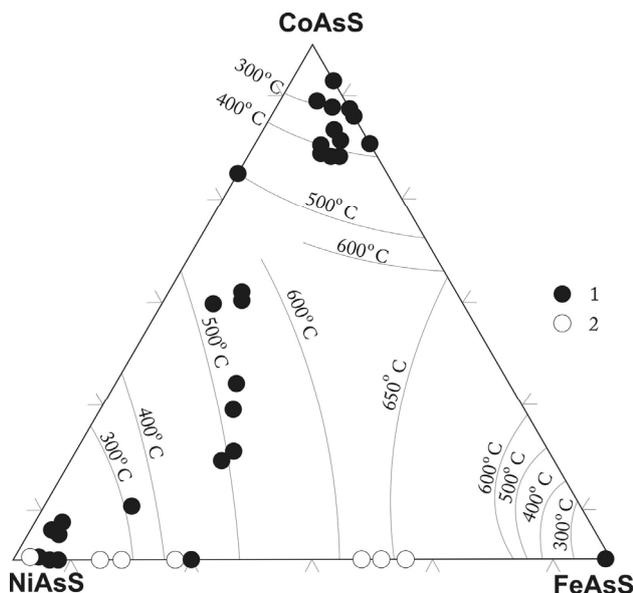


Рис. 6. Состав сульфоарсенидов кобальта, никеля и железа из золотосодержащих метасоматитов проявления «Карьер Койкары» (1) и Койкарского колчеданного проявления (2). Температурные кривые – по [Klemm, 1965]

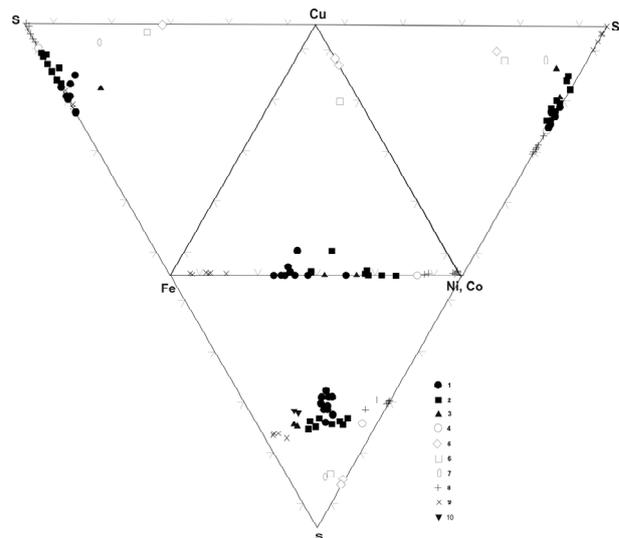


Рис. 7. Состав минералов системы Fe-Ni, Co-Cu-S проявления «Карьер Койкары»:

1 – пентландит; 2 – виоларит; 3 – флетчерит; 4 – зигенит; 5 – ковеллин; 6 – талнахит; 7 – вилламанит; 8 – миллерит; 9 – Со-пирит; 10 – хороманит; пирит, халькопирит и пирротин имеют стехиометрический состав и на диаграмму не вынесены

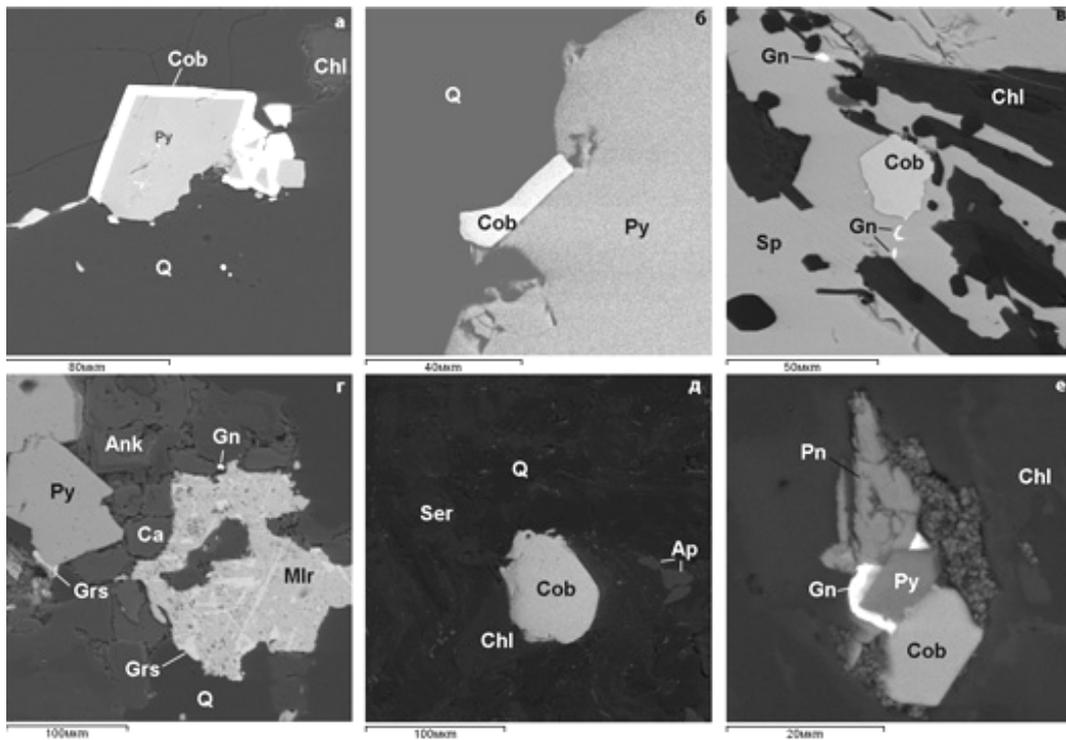


Рис. 8. Характерные формы выделения и главные минеральные ассоциации сульфоселенидов кобальта и никеля в метасоматитах проявления «Карьер Койкары»:

Ank – анкерит, Ap – апатит, Ca – кальцит, Chl – хлорит, Cob – кобальтин, Gn – галенит, Grs – герсдорфит, Mlr – миллерит, Q – кварц, Pn – пентландит, Py – пирит, Ser – серицит, Sp – сфалерит

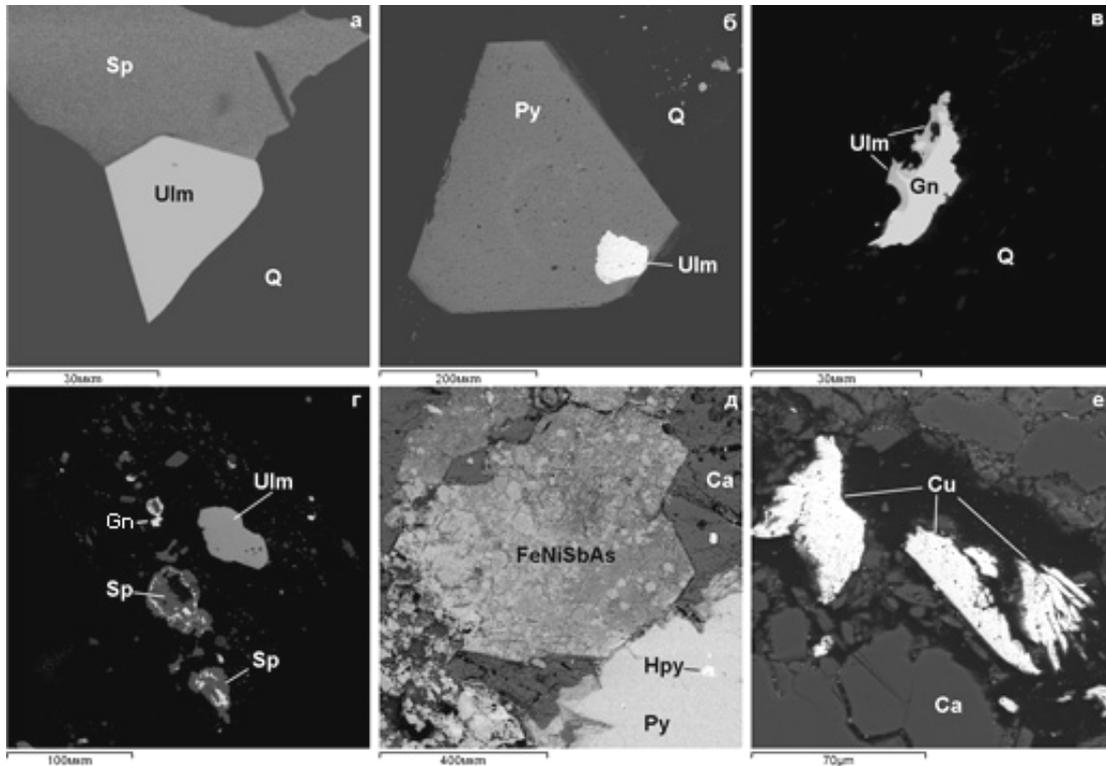


Рис. 9. Минеральные ассоциации ульманнита и меди самородной на проявлении «Карьер Койкары»:

Cu – медь самородная, Fe, Ni, Sb, As – окислы и гидрокислы данных элементов, Hpy – халькопирит, Ulm – ульманнит; здесь и на рис. 10, 11, 13 прочие обозначения как на рис. 8

Таблица 3. Состав ульманнита проявления «Карьер Койкары»

	K52a8-1	K19-15-1	K19-28-1	K19-35-3	K16-3-1	K3-2-1	K12-28-1	K53-15-2	K32-9-1
Sb	57,63	54,36	56,79	55,37	44,52	50,43	58,73	54,97	53,11
Ni	26,64	27,84	27,99	25,33	23,57	27,44	24,90	27,11	28,08
As		1,85							
Fe		0,92		3,62		3,15	0,91	2,31	3,56
S	15,73	15,03	15,22	15,68	14,87	18,98	15,45	15,62	15,26
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты									
Sb	1,00	0,94	0,99	0,96	0,84	0,81	1,03	0,94	0,91
Ni	0,97	0,99	1,01	0,91	0,92	0,92	0,91	0,96	1,00
Fe		0,03		0,10		0,11	0,03	0,09	0,10
As		0,05							
S ²⁻	1,03	0,98	1,00	1,03	1,05	1,16	1,03	1,01	0,99

Примечание. В ан. K16-3-1 опр. 17,04 % Вi.

С никель-кобальтовыми сульфоарсенидами часто ассоциирует ульманнит (рис. 9, табл. 3), наиболее распространенный из диагностированных здесь сульфоантимонидов. Он представлен субидiomорфными кристаллами в сростании со сфалеритом (см. рис. 9, а); ксеноморфными включениями в кварце (см. рис. 9, г), пирите (см. рис. 9, б), анкерите вблизи пиритовых кристаллов, обрастая и резорбируя их, изредка отмечается в сростаниях с галенитом (см. рис. 9, в). Мелкие (5–8 мкм) выделения ульманнита встречаются в микропрожилках кварца, секущих пирит. В зонах гипергенных преобразований ульманнит замещается окислами и гидроокислами переменного состава (Ni,Fe,Sb)

(см. рис. 9, д), а пирит – сидеритом, содержащим примеси Sb, Ni, Cu, As.

Сульфиды никеля, среди которых доминируют пентландит и миллерит, отмечаются в самых разнообразных ассоциациях, встречаясь совместно практически со всеми рудными минералами золотосодержащих метасоматитов, но наиболее характерно их сонахождение с пиритом, халькопиритом, галенитом, реже с кобальтином (рис. 10). Пентландит представлен широким спектром составов вплоть до аргентопентландита (табл. 4), как правило, ассоциирующегося с халькопиритом (рис. 11, б, в). Миллерит отмечается в виде мелкой (10–20 мкм) вкрапленности в карбонате, микропрожилков в виоларите,

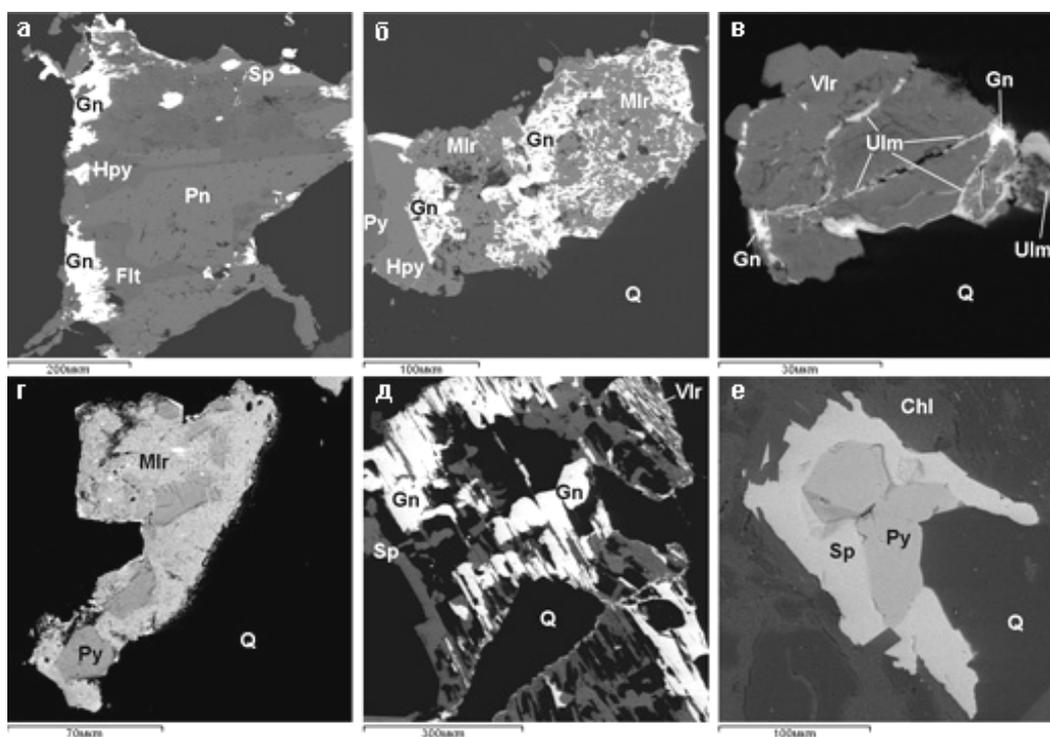


Рис. 10. Главные минералы никеля и цинка в метасоматитах проявления «Карьер Койкары»: Flt – флетчерит, Pn – пентландит, Vir – виоларит

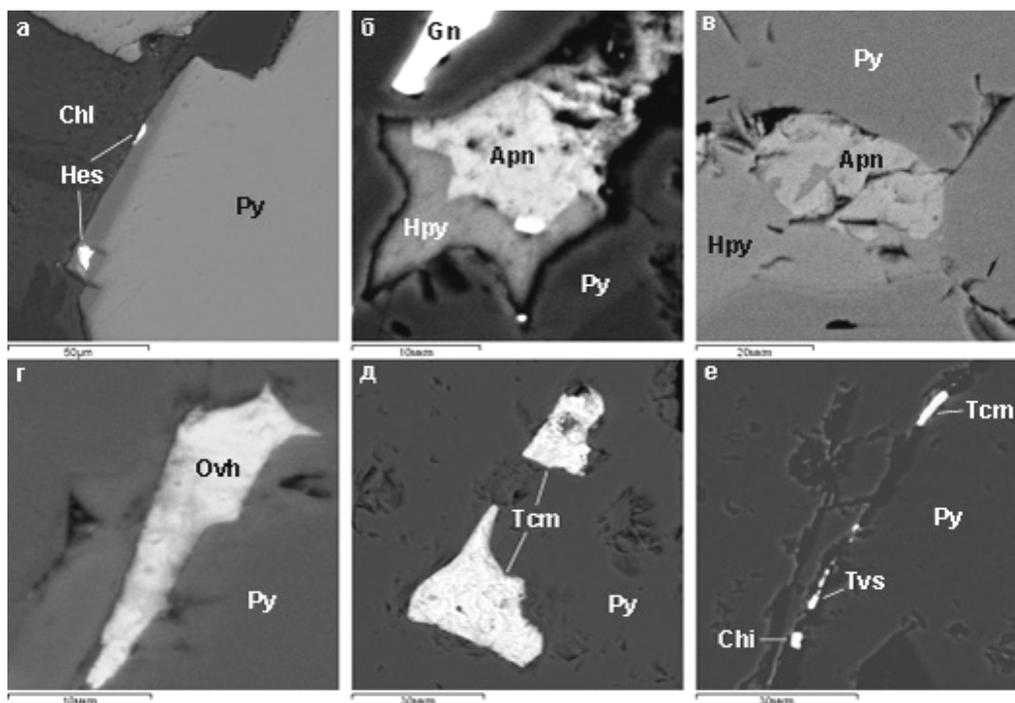


Рис. 11. Минералы серебра, висмута, теллура и молибдена в метасоматитах проявления «Карьер Койкары»:

Aprn – аргентопентландит, Chi – чилуит, Hes – гессит, Ovh – овхиит, Py – пирит, Tcm – цумоит, Tvs – теллуrowисмутит

часто в тесном срастании с галенитом (см. рис. 10, б), возможно, связанном с распадом шандита ($Ni_3Pb_2S_2$). В более крупных выделениях (до 0,5 мм) содержит включения частично резорбированного пирита (см. рис. 10, г), в единичном случае – наноразмерный (<1 мкм) кластер брэггита (Pt,Pd,Ni)S.

Таблица 4. Состав аргентопентландита проявления «Карьер Койкары»

	K52b6-1	K52b7-1	KO24-2	KO23-2
Fe	35,59	34,90	36,71	36,18
Ni	19,10	20,13	17,79	19,12
Ag	12,79	12,86	12,93	13,26
S	32,52	32,11	32,58	31,44
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты				
Fe ⁴⁺	5,17	5,13	5,33	5,30
Ni	2,64	2,78	2,46	2,67
Ag	0,96	0,99	0,97	1,01
S ²⁻	8,16	8,10	8,24	8,03

Следующая минеральная ассоциация медно-полиметаллическая, в качестве главных рудных фаз представленная триадой галенит-сфалерит-халькопирит, отмечается повсеместно, но наиболее характерна в метасоматитах вблизи западной стенки карьера. Каждый из минералов этой триады образует как минимум по две генерации. Галенит встречается в виде самостоятельных зерен, прожилковидных выделений и

сростков со сфалеритом, микропросечек в пирите, миллерите, агрегатных скоплений совместно со сфалеритом и гринокитом (структуры распада твердого раствора?) по краям миллеритовых зерен, содержащих включения халькопирита. Характерны обрастания галенитом отдельных рудных минералов и многофазных срастаний. Поздний галенит обычно имеет высокие концентрации серебра (до 10 %), меди (до 3 %) и селена (до 4 %) (табл. 5), содержит микровключения и вростки висмута самородного. Сфалерит наиболее характерен для мелкозернистых кварц-хлорит-пиритовых метасоматитов в западной части карьера. Он представлен двумя генерациями – ранней более железистой (до 11 % Fe), содержащей примеси Cu (до 9 %), и поздней безжелезистой клейофановой с повышенными концентрациями Cd (до 2 %). Часто находится в срастаниях с халькопиритом, пирротинном, галенитом, пиритом (см. рис. 8, в; 9, г; 10, а, д, е), виоларитом, медистым пентландитом.

Наиболее поздней минеральной ассоциацией является висмута-теллуридно-благородно-металлическая (табл. 6). Представители этой ассоциации встречаются преимущественно в виде микровключений и прожилков в пирите и других ранее выделившихся минералах или нарастают на их грани (рис. 11, а, г, д, е). Мелкодисперсное (1–10 мкм) самородное золото и электрум

пробностью 500–>900 (табл. 7) сосредоточены преимущественно в пирите (рис. 12). По данным [Лавров, Кулешевич, 2012], отмечается также золото пробностью <300, относящееся к кюстелиту. К этой же стадии минералообразования, вероятно, относится медь самородная, слагающая микропрожилки совместно с кальцитом (см. рис. 9, е), овихиит (микровключения в пирите) и борнит – микропрожилки в кварце и каймы обрастания вокруг зерен халькопирита.

Таблица 5. Состав селенсодержащего галенита и клаусталита проявления «Карьер Койкары»

	КК-В21-1	КК-О18-1	КК-О26-1	КК-В20-2	КК-В20-1	КК-В25-1	КК-В17-1
Pb	85,16	85,07	68,00	83,72	84,14	76,51	74,25
Se	1,47	2,02	3,38	3,78	3,99	20,01	21,12
S	13,37	12,91	19,81	12,50	11,87	3,47	4,63
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты							
Pb	0,97	0,98		0,96	0,98	1,01	0,93
Se	0,04	0,06		0,12	0,12	0,70	0,70
S ²	0,99	0,96		0,92	0,90	0,29	0,37

Примечание. Ан. КК-О26-1 опр. Cu – 2,43 %, Ag – 6,37 %.

Таблица 6. Состав редких рудных минералов (Bi-Te-Sb-Ag-Pb) проявления «Карьер Койкары»

	К11-16-2	КЖ-15-2	КЖ-5-2	КЖ-5-3	КЖ-15-1	К1-1-1	К1-2-1	К1-4-1	К1-4-3
Pb	37,89	18,97	6,66						
Bi	15,53	39,38	52,75	57,76	54,27				
Te		41,65	40,59	42,24	45,73	32,05	40,41	33,89	37,21
Se						5,67		3,67	
Sb	20,42								
Ag	7,28					62,28	59,59	62,44	62,79
S	18,88								
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты									
Pb	6,27	1,06	0,25						
Bi	2,54	2,18	2,92	0,91	0,84				
Te		3,78	3,73	1,09	1,16	0,84	1,09	0,89	1,00
Se						0,24		0,16	
Sb	5,74								
Ag	2,31					1,92	1,91	1,95	2,00
S	20,15								
	овихиит	раклиджит	цу-моит	теллу-ровис-мутит	гессит				

Несмотря на столь разнообразную рудную минерализацию, по результатам детального опробования метасоматиты имеют только незначительно повышенное среднее содержание соответствующих элементов, более чем на порядок ниже приводимых максимальных: Mn – 1 %, Zn – 0,7 %, Cu – 2 %, Pb – 0,02 % и (в г/т): Co – 160, Ni – 410, V – 302, Cr – 217, As – 203, Sb – 130, Te – 2, Se – 25, Bi – 3, Cd – 49, Sn – 64, Mo – 25, W – 8, Nb – 20, Zr – 230, U – 14, Th – 15, Σ PЗЭ – 500 (ICP-MS, ИГ КарНЦ РАН, Парамонов А. С.).

Содержание золота – среднее по 27 ан. – 0,05 г/т (0,02–0,17 г/т) (ЦНИГРИ, пробирный

атомно-абсорбционный анализ), серебра – по 28 ан. – 0,16 г/т (<0,05–0,53) (ICP-MS, ИГ КарНЦ РАН, Парамонов А. С.).

Таблица 7. Состав золота самородного и электрума проявления «Карьер Койкары»

	Σ 7 ан.	К19-40-1	G1/2-7	G1/2-8	G3/5-1	G3/5-1	G3/4-1
Au	100,00	93,60	77,83	71,49	71,05	55,94	54,90
Ag		2,14	22,17	28,51	28,95	44,06	45,10
Hg		4,26					
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты							
Au	1,00	0,92	0,66	0,58	57,34	41,01	0,40
Ag		0,04	0,34	0,42	42,66	58,99	0,60
Hg		0,04					

Рудная минерализация Койкарского колчеданного проявления

Сульфидная минерализация преимущественно мелкозернистая вкрапленная, местами массивная, сосредоточена в хлоритовых, амфибол-биотит-хлоритовых сланцах апотуфогенной природы. Породообразующие минералы: хлорит – пикнохлорит, brunsvigit (f – 0,43–0,63) (см. рис. 4), альбит, магнезиальная роговая обманка (Si – 6,7–7,5 ф. е.; Mg/(Mg+Fe) – 0,56–0,58), эпидот (f – 0,20–0,28), биотит (f – 0,45–0,49), гидробиотит, кварц, кальцит, доломит, анкерит, серицит, графит. Главные рудные минералы – пирит, пирротин; второстепенные – магнетит, халькопирит, сфалерит; редкие – галенит, клаусталит, молибденит, герсдорфит, кобальтин, арсенопирит, фаматинит, ковеллин, халькозин, ульманнит, ильменит, гессит, науманнит, эвкайрит, акантит, электрум (рис. 13), барит, титанит, апатит, рутил, монацит, циркон; гипергенные – гетит, гидрогетит, церуссит. Они подразделяются на три последовательно формирующиеся ассоциации – пирит-пирротин-магнетитовую, сфалерит-халькопиритовую и галенит-сульфоарсенидно-благородно-металлическую. Кобальтин, герсдорфит и фазы промежуточного состава герсдорфит-арсенопирит (см. рис. 6) слагают субидиоморфные выделения размером до 0,2 мм, отчетливо корродирующие пирит, пирротин, халькопирит (см. рис. 13, в), в мелкокристаллической форме нарастают на грани этих минералов и рассекают их микропрожилками совместно с галенитом. Арсенопирит слагает сыпь мелких (1–10 мкм) зерен и идиоморфных кристаллов (до 30 мкм) вокруг пирита-II кубического габитуса. Селениды и теллуриды серебра представлены малоразмерными (до 30 мкм) выделениями, а фаматинит – более крупными (до 300 мкм), в ассоциации с халь-

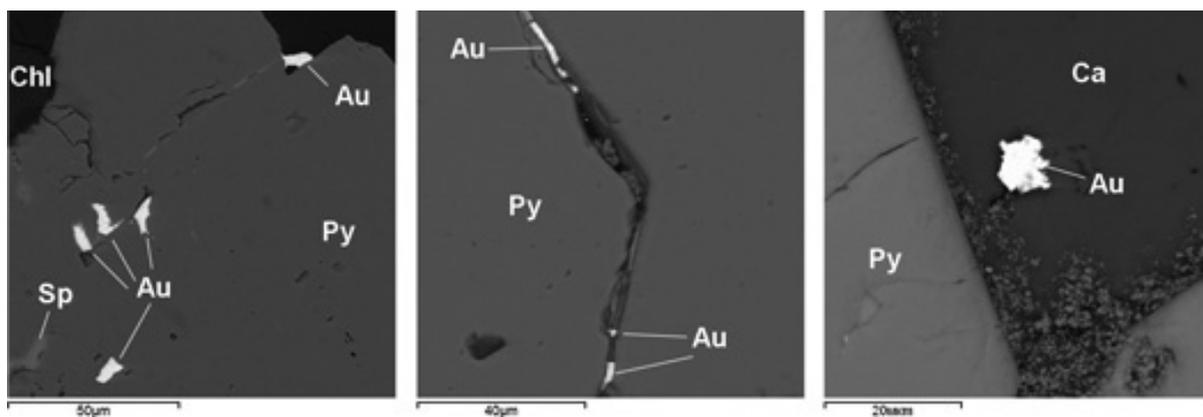


Рис. 12. Характерные морфотипы золота самородного в метасоматитах проявления «Карьер Койкары»

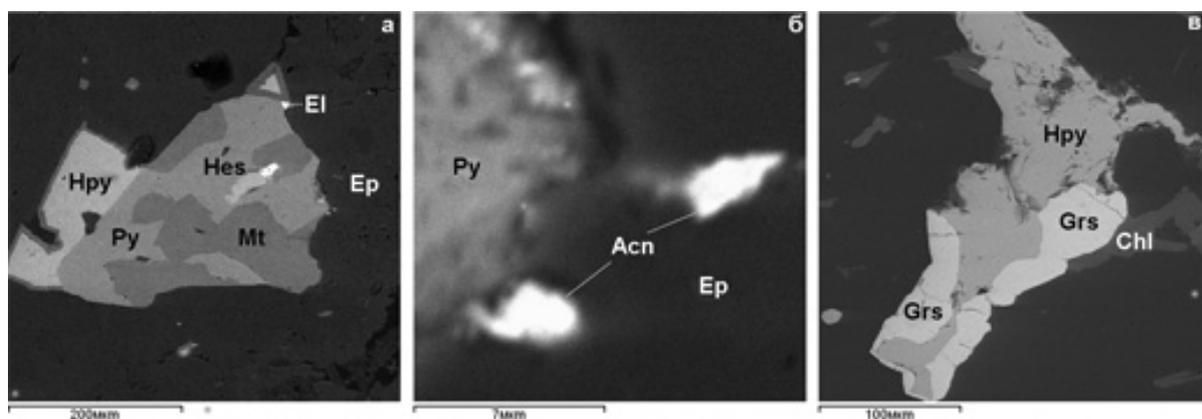


Рис. 13. Благороднометалльная, медная и сульфоарсенидная минерализация в рудах Койкарского колчеданного проявления:

Asp – акантит, El – электрум, Ep – эпидот, Mt – магнетит

копиритом. По данным микрозондового анализа, в герсдорфите изредка содержится сурьма (до 2,34 %) и полностью отсутствует кобальт.

Микровыделения электрума и акантита ассоциируются с пиритом, герсдорфитом, халькопиритом и эпидотом (см. рис. 13, а, б).

РТ-условия образования рудоносных метасоматитов проявления «Карьер Койкары»

Оценка условий формирования рудной минерализации на рудопроявлениях в Койкарской структуре осуществлена по доломит-кальцитовому и сфалеритовому геотермометрам, хлоритовому, кобальтиновому, арсенипиритовому, электрум-сфалеритовому и анкерит-сидеритовому геотермометрам с учетом условий стабильности сульфидных парагенезисов по фазовым диаграммам.

На золотосодержащем проявлении «Карьер Койкары» температура метасоматических преобразований оруденения по хло-

ритовому термометру [Caritat et al., 1993] варьирует в пределах 200–410 °С, статистически разбиваясь на три температурных интервала – 200–230; 250–310 и 330–410 °С (рис. 14, а). На Койкарском колчеданном проявлении по этому же термометру температурные условия изменяются в диапазоне 200–310° с подразделением на интервалы 200–230° и 250–310° (рис. 14, б). Примерно такие же температурные параметры дает мусковит-парагонитовый геотермометр [Eugster, Yoder, 1955; Lambert, 1959] с разбиением в соответствии с содержанием парагонитового компонента в сериците (см. рис. 3) на два температурных интервала – 200–300 °С и >400 °С. Однако эти значения с учетом поправки на давление могут сильно измениться [Котов, 1975].

Согласно данным экспериментальных исследований системы Fe-Ni-S [Kitakaze et al., 2011], температура образования пентландита в метасоматитах проявления «Карьер Койкары» находится в интервале 400–600 °С.

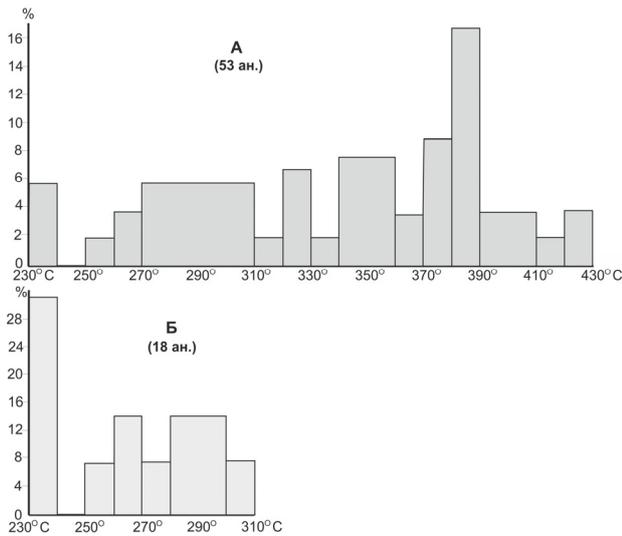


Рис. 14. Гистограммы распределения температур образования хлоритов из золотосодержащих метасоматитов рудопроявлений «Карьер Койкары» (А) и Койкарского колчеданного (Б). Хлоритовый геотермометр – [Caritat et al., 1993]

Температурные условия кристаллизации Co-Ni-сульфоарсенидов, учитывая несомненно гидротермально-метасоматическое их образование и термобарогеохимические данные по кобальтовым и арсенидно-кобальтовым месторождениям [Борисенко и др., 1984; Лебедев, 1998], не должны были превышать 400 °С. Однако согласно экспериментальным данным [Klemm, 1965] (см. рис. 6) температура их образования, возможно, была и гораздо более высокой (500–550 °С).

Температура образования арсенопирита по соответствующему геотермометру составляет 300–355 °С [Лавров, Кулешевич, 2012].

Оценка температурных условий формирования более поздних минеральных ассоциаций, сопровождающихся благороднометалльной минерализацией, показала следующие результаты. Аргентопентландит, вероятно, образовавшийся при распаде пентландитового твердого раствора, устойчив по [Воган, Крейг, 1981] ниже 455 °С.

В соответствии с фазовыми диаграммами систем Bi-Te, Ag-S [Лякишев и др., 1996] и Ag-Te [Stumpel, Rucklidge, 1968; Лякишев и др., 1996], цумоит в метасоматитах мог выделяться при температуре только <540 °С, теллурувисмутит – <585 °С, Ag₂S (α-аргентит) – <800° с последующими полиморфными превращениями при температуре 600 и 115 °С (акантит), гессит – <959° с полиморфными преобразованиями при температуре 802–690° и 145–105 °С, штютцит – <460 °С с полиморфными изменениями при температуре 417–419° и 250–295 °С. Согласно

экспериментальным данным [Craig, Barton, 1973], менегенит в системе Pb-Cu-Sb-S образуется в температурном интервале 104–435 °С, а фаматинит – 25–540° [Skinner et al., 1972], матильдит устойчив при температуре <343 °С [Craig, 1967].

В гидротермальных системах пентландит устойчив при температуре <610 °С [Kullerud, 1963], зигенит – ~500 °С, виоларит – <461 °С [Воган, Крейг, 1981]. Отсутствие в пирротине пламенеvidных выделений пентландита свидетельствует о температурных условиях >300 °С [Naldrett, Kullerud, 1967].

По электрум-сфалеритовому термометру Н. А. Шиказоно [Shikazono, 1985], выделение золота и электрума происходило при температуре 254–370 °С (254-294-307-345-346-367-368-370°) на проявлении «Карьер Койкары» и 340 °С – на Койкарском колчеданном проявлении. Примерно в этом же температурном интервале, вероятно, кристаллизовались самородные висмут (T_{пл} = 271 °С) и кадмий (T_{пл} = 321 °С), устойчивый [Кулешевич, Лавров, 2012].

Карбонатные парагенезисы формировались при температуре 200–450 °С и давлении 1–2 кбар (доломит-кальцитовый геотермометр) [Таланцев, 1978] и 140–143 °С (анкерит-сидеритовый геотермометр) [Anovitz, Essene, 1987].

По сфалеритовому геобарометру [Toulmin et al., 1991] давление при формировании рудной минерализации оценивается в 2–6 кбар, а температура кристаллизации сфалерита по фазовым диаграммам [Barton, Toulmin, 1966] – 200–480 °С, [Balabin, Sack, 2000] – ~300 °С.

Для корректного использования в качестве температурных индикаторов спорадически встречающихся, по данным микрозондового анализа, нестехиометрических сульфидов меди (Cu/S 1,24–1,4) требуется прецизионная проверка другими методами [Габлина, 2008], исключающая их принадлежность к в различной степени гипергенно преобразованным халькозину и ковеллину.

Повышенные содержания Bi и Ag в галените являются свидетельством относительно высокотемпературных условий образования для данного минерала [Schroll, 1955].

Важное индикаторное значение для определения P-T-условий формирования минерализованных метасоматитов проявления «Карьер Койкары» имеет также широкое распространение в них маргарита.

Маргарит – кальциевая диоктаэдрическая слюда (род хрупких слюд) – хотя и известен с середины XIX века, встречаясь в метаморфизованных известково-глиноземистых осадочных породах, гидротермальных жилах, измененных

анортозитах и др., все же считается достаточно редким минералом, и в качестве породообразующего он был признан только после работ [Sagon, 1967; Frey, Niggli, 1972]. Для Карелии достоверные его находки, подтверждаемые аналитическими данными, по настоящее время не были известны.

Согласно экспериментальным данным [Velde, 1971; Chatterjee, 1976], редкость нахождения маргарита в природе объясняется узким температурным диапазоном (110–140°) его устойчивости – 350–450° при P 1 кбар, 380–530° при P 2 кбар и 560° до P 8,6 кбар, отвечающим условиям низкой и средней ступеней метаморфизма. На РТ-диаграммах область парагенезиса *маргарит + кварц* ограничена линиями *Al-силикат+плагиоклаз* и *Al-силикат + клиноцоизит*, поэтому в присутствии плагиоклаза маргарит характерен только для пород с дефицитом кремнезема. При повышении P_{H_2O} выше 860 Мпа парагенезис кварц + маргарит сменяется более высокобарическим – цоизит + кианит, обычным для эколитов зеленосланцевой и амфиболитовой фаций метаморфизма. Следовательно, парагенезис *кварц + маргарит* является индикатором низкого и умеренного давления. Поле стабильности парагенезиса *маргарит + кварц* сдвигается в сторону еще более низких температуры и давления при повышенных концентрациях во флюидах газовой составляющей (CO₂, CH₄, H₂, H₂S и др.).

Обсуждение результатов

Главные структурно-морфологические особенности метасоматически преобразованной и минерализованной толщи на проявлении «Карьер Койкары», заключающиеся в субогласной ориентированности метасоматического осветления (кварц, карбонат, светлая слюда) пород субстрата с их первичной полосчатостью, свидетельствуют о совпадении направленности сдвиговых деформаций и фильтрации растворов, обусловливавших гидротермально-метасоматические изменения. Преобладающая часть карбонат-кварцевых прожилков, жил и линзообразных обособлений с сульфидами согласна со сланцеватостью, лишь изредка образуя брекчиевую текстуру. В совокупности с широко распространенным их линзовидно-кулисообразным расположением это свидетельствует о неравномерном пульсационном просачивании флюидов, что является одной из характернейших черт гидротермально-метасоматических преобразований пород в зонах сдвиговых деформаций [Русинов, 2005]. Отчетливо фиксируется несколько направлений (СЗ, СС, СВ), веро-

ятно, многофазовых и, предположительно, полихронных сдвиговых деформаций.

Зона смятия функционировала, по-видимому, как комплекс каналов флюидной конвекции, захватывающей и уровни формирования колчеданного оруденения, и более глубокие, о чем свидетельствует привнос в ходе метасоматического процесса элементов основных и ультраосновных магм (Ni, Co, V, Cu) и присутствие в золоте самородном ртути как индикатора глубинного источника рудного вещества [Patter, Barnes, 1978]. Согласно закономерностям формирования золотого оруденения в сдвиговых зонах [Groves et al., 2003], наиболее благоприятной обстановкой для локализации золоторудной минерализации в рассматриваемой зоне смятия должны быть участки резкого падения давления, т. е. места локального растяжения (флексурные перегибы, плейчатость, микробрекчирование, трещины отрыва и др.) с отчетливо калиевой направленностью проявленного фонового метасоматоза и формированием обширных зон березитов или кварц-серицитовых метасоматитов. На проявлении «Карьер Койкары» отмечается только крайне локальное развитие таких метасоматитов, а доминируют разнообразные кварц-хлоритовые метасоматиты при широком участии диоктаэдрической кальциевой слюды – маргарита и промежуточных фаз мусковит-маргарит-парагонит, свидетельствующих о несколько повышенных не вполне благоприятных для золоторудной минерализации барических и температурных условиях их формирования.

Это согласуется с данными наших расчетов по разнообразным геотермометрам, показывающим широкие вариации температуры (>500–140 °С) и давления (1–6 кбар) в ходе гидротермально-метасоматического процесса. Максимальные температурные значения (>500 °С) (см. рис. 6) дают Co-Ni-сульфоарсенидные и пентландитовые ассоциации, минимальные (~140 °С) – анкерит-сидеритовые. Акантит, гессит, штютцит и другие полиморфные разновидности соответствующих минералов в качестве температурных реперов не могут рассматриваться именно вследствие свойственного этим химическим соединениям явления температурного полиморфизма, с понижением температуры видоизменяющего при неизменном составе структуру первоначально выделившейся минеральной фазы. Исходные температурные условия образования таких минералов должны определяться другими способами.

Температура кристаллизации золота самородного, электрума, кюстелита и, вероятно, ассоциирующейся с ними серебряной минера-

лизации (гессит, штюцит, акантит, овихит, матильдит и др.) по электрум-сфалеритовому термометру [Shikazono, 1985] варьирует в пределах 250–370 °С, что значительно превышает температурные условия <250–260 °С, наиболее благоприятные для промышленного по запасам и содержанию оруденения золота в архее Фенноскандинавского щита (Пампало).

В совокупности температуры образования рудных (>500–140 °С) и породообразующих (560, 410–140 °С) парагенезисов на проявлении «Карьер Койкары» определяют его отнесение к высокотемпературной ступени мезотермальной фации. Возможно, такие температурные параметры являются следствием проявления здесь двух гидротермально-метасоматических процессов – раннего, формирующего колчеданное оруденение в пропилитах (хлорит, альбит, эпидот, кварц), и позднего, более высокотемпературного золотонесущего (кварц, серицит, карбонат, маргарит, хлорит), связанного с развитием региональной сдвиговой зоны. В пользу этого свидетельствует совпадение двух статистически выделяемых температурных интервалов по хлоритовому термометру (200–230 °С; 250–310 °С) (см. рис. 14) на проявлениях Койкарском колчеданном и «Карьер Койкары» при отсутствии на первом из них значений 330–410 °С, наиболее характерных для второго. Эти рудопоявления отличаются и по характеру изоморфизма в сульфоарсенидах: кобальтин-герсдорфит – «Карьер Койкары» и кобальтин-герсдорфит-арсенипит – Койкарское колчеданное.

Результаты определения давления по минеральным геобарометрам (1–6 кбар) представляются менее достоверными, чем температурные данные, вследствие невысокой точности самих применяемых геобарометров (сфалеритовый, доломит-кальцитовый) и вероятной обусловленности параметров давления в сдвиговых зонах не только литостатическим фактором, но и динамическим.

Приведенные комплексные данные, характеризующие главные особенности золотосодержащего проявления «Карьер Койкары», определяют его принадлежность к одному из ведущих в докембрии [Groves et al., 2003] генетических типов оруденения золота – орогенному мезотермальному, главным рудоконтролирующим фактором для которого являются системы разноранговых сдвиговых зон, объединяющихся в региональные зоны сдвиговых дислокаций, имеющие, как правило, полихронное развитие. В соответствии с генетической типизацией золоторудных месторождений Фенноскандинавского щита данное проявление классифицируется как орогенное мезотермальное с атипичной ме-

талльной ассоциацией, свидетельствующей о гетерогенном источнике рудного вещества.

В пределах Карельского кратона региональные сдвиговые зоны в большинстве своем наследуют глубинные разломы, контролировавшие изначально размещение колчеданных месторождений [Колодяжный, 2006; Леонов, 2008]. Впоследствии они неоднократно подновлялись, обеспечивая тепло- и массоперенос из глубинных геосфер и способствуя в благоприятных обстановках, к каковым относятся участки развития колчеданного оруденения – своеобразного «коллектора» благородных металлов [Иващенко, Голубев, 2011], образованию благороднометалльной минерализации орогенного мезотермального типа. В вертикальном строении региональных сдвиговых зон отмечается несколько уровней магмогенерации и интрузивного магматизма, начиная с мантийно-корового [Groves et al., 2003; Русинов, 2005], но прямой генетической связи золоторудной минерализации с определенными интрузиями не устанавливается. Однако слабо эродированные перспективные рудные объекты орогенного мезотермального типа, как правило, пространственно ассоциируют с субвулканическими и гипабиссальными интрузиями или дайками среднего и кислого состава (Пампало, Суурикуусикко, Хатуноя, Пякюля и др.), отвечающими верхнекоровому уровню магмообразования в сдвиговых зонах. В этом аспекте золотосодержащее проявление «Карьер Койкары», ввиду отсутствия в его пределах непосредственного развития такого магматизма и его признаков, представляется малоперспективным.

Выводы

1. Золотосодержащее проявление «Карьер Койкары» относится к орогенному мезотермальному типу с атипичной металльной ассоциацией, свидетельствующей о гетерогенном источнике рудного вещества. Оно приурочено к длительно развивавшейся Койкарско-Выгозерской региональной сдвиговой зоне в сочетании со сдвиговыми дислокациями более низкого порядка.

2. Зона смятия, контролирующая оруденение, функционировала, по-видимому, как комплекс каналов флюидной конвекции, захватывающей и уровни формирования колчеданного оруденения, и более глубинные с привносом элементов основных и ультраосновных магм (Ni, Co, V, Cu, Pt), а также Au, Ag и их элементов-спутников – Bi, Te, As, Se, Sb.

3. Фоновый характер метасоматических преобразований в пределах зоны отвечает преимущественно промежуточной фации между березитами и хлоритовыми пропилитами с

участием маргарита (первые аналитические описания для Карелии).

4. Рудная минерализация на проявлении исключительно разнообразна (более 60 минералов), с широким развитием помимо главных рудных минералов (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит) также Ni-, Fe-, Cu-сульфидов, сульфоарсенидов Fe, Co, Ni, висмута-теллуридов, сурьмяных сульфосолей свинца и др. редких минералов, ряд из которых установлены на территории Карелии впервые.

5. РТ-параметры проявленного гидротермально-метасоматического процесса ($T = 140\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$; $P = 1\text{--}6$ кбар) были не вполне благоприятными для формирования золотого оруденения. Температура кристаллизации золота самородного, электрума, кюстелита и ассоциирующейся серебряной минерализации по электрум-сфалеритовому термометру составляла $250\text{--}370\text{ }^\circ\text{C}$.

5. благороднометалльная минерализация (золото, электрум, кюстелит, гессит, науманит, эвкайрит, акантит, аргентопентландит, овихиит, брэггит и др.) представлена исключительно в микровыделениях (до $10\text{--}15$ мкм). Максимальное содержание золота и серебра составляет соответственно (г/т) 0,2 и 0,53.

6. По геологическим, минералого-геохимическим и петрологическим особенностям золото-содержащее проявление «Карьер Койкары» характеризуется как малоперспективное. Однако в совокупности с установленной благороднометалльной минерализацией в койкарских колчеданных рудах и вероятным конвективным характером циркуляции флюидов в Койкарско-Выгозерской сдвиговой зоне данное рудопроявление представляется в качестве комплексного положительного признака потенциальной золотоносности данной зоны в целом.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 27.

Литература

Борисенко А. С., Лебедев В. И., Тюлькин В. Г. Условия образования гидротермальных кобальтовых месторождений. Новосибирск: Наука, 1984. 172 с.

Воган Д., Крейг Дж. Химия сульфидных минералов. М.: Мир, 1981. 575 с.

Габлина И. Ф. Минералы систем Cu-S и Cu-Fe-S как индикаторы условий образования сульфидных руд // Матер. годич. собр. ВМО. 2008. С. 26–29.

Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 3. Листовые силикаты. М.: Мир, 1966. 317 с.

Егорова А. И. Отчет о геолого-поисковых работах на серный колчедан в Петровском районе КФССР в 1951 г. // ТГФ РК. Петрозаводск, 1952.

Иващенко В. И., Голубев А. И. Золото и платина Карелии: формационно-генетические типы оруденения и перспективы. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2011. 368 с.

Иващенко В. И., Голубев А. И., Ромашкин А. Е., Ибрагимов М. М. Минералогия золоторудного проявления «Карьер Койкары» (Карелия): генетические и металлогенетические аспекты // Матер. годич. собр. РМО. СПб., 2012. С. 122–124.

Колодяжный С. Ю. Структурно-кинематическая эволюция юго-восточной части Балтийского щита в палеопротерозое // Тр. ГИН РАН. М., 2006. Вып. 572. 332 с.

Котов Н. В. Мусковит-хлоритовый палеотермометр // Докл. РАН. 1975. Т. 222, № 3. С. 700–704.

Лавров О. Б., Кулешевич Л. В. Золоторудная минерализация Койкарской структуры, Центральная Карелия // Тр. КарНЦ РАН. 2012. № 3. С. 87–99.

Лебедев В. И. Рудномагматические системы эталонных арсенидно-кобальтовых месторождений. Новосибирск: Изд. СО РАН, 1998. 136 с.

Леонов М. Г. Горизонтальные протрузии в структуре литосферы Земли // Геотектоника. 2008. № 5. С. 3–36.

Леонтьев А. Г., Голованов Ю. Б., Дегтярева Т. А. Составление карты полезных ископаемых Республики Карелия масштаба 1:500 000. Отчет // ТГФ РК. Петрозаводск, 2003.

Лякишев Н. П., Банных О. А., Рохлин Н. Р. и др. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник в 3-х томах. М.: Машиностроение, 1996. Т. 1. 992 с.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.

Робонен В. И., Рыбаков С. И., Ручкин Г. В. и др. Серноколчеданные месторождения Карелии (геология, метаморфизм, генезис). Л.: Наука, 1978. 192 с.

Русинов В. Л. Зоны сдвиговых деформаций в литосфере и их роль в эндогенной активности Земли // Геотектоника. 2005. № 3. С. 66–79.

Светов С. А., Светова А. И., Назарова Т. Н. Корреляционные реперные уровни в верхнеархейском Хаутавааро-Койкарском стратотипе // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. Вып. 6. С. 3–12.

Светов С. А., Светова А. И., Назарова Т. Н., Антропова Е. А. Неоархейские пулл-апарт бассейны Центрально-Карельского террейна: породные последовательности и литогеохимическая характеристика // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. Вып. 8. С. 5–17.

Светова А. И. Архейский вулканизм Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1988. 148 с.

Светова А. И., Рыбаков С. И. Геологическая экскурсия по маршруту: г. Петрозаводск – дер. Койкары – г. Петрозаводск / Путеводитель геологических экскурсий по Карелии. Петрозаводск, 1987. С. 28–37.

Таланцев А. С. Уточнение диаграммы доломит-кальцитового геотермобарометра // Геохимия. 1978. № 2. С. 206–216.

Харитонов Л. Я. Структура и стратиграфия карелид восточной части Балтийского щита // Матер. по геолог. и полезн. ископ. Северо-Запада РСФСР. М., 1966. Вып. 6. 355 с.

Щипцов В. В., Голубев А. И., Иващенко В. И., Трофимов Н. Н. Минерагения Онежского рудного района: основы прогнозирования месторождений стратегических видов минерального сырья и новых их типов в Карельском регионе // Пробл. минераг. России. М.: ГЦ РАН. 2012. С. 86–98. URL: <http://onznews.wdcb.ru/ebooks/minerageny/> (дата обращения: 10.09.2013)

Anovitz L. M., Essene E. J. Phase Equilibria in the System CaCO₃-MgCO₃-FeCO₃ // Journal of Petrology. 1987. Vol. 28, part 2. P. 389–414.

Balabin A. I., Sack R. O. Thermodynamics of (Zn,Fe)S sphalerite. A CVM approach with large basis clusters // Mineralogical Magazine. 2000. Vol. 64 (5). P. 923–943.

Barton P. B., Toulmin P. Phase relations involving sphalerite in the Fe-Zn-S system // Econ. Geol. 1966. Vol. 61. P. 815–849.

Caritat P., Hutcheon L., Walshe J. L. Chlorite geothermometry: a review // Clays and Clay Minerals. 1993. Vol. 41, N 2. P. 219–239.

Chatterjee N. D. Margarite stability and compatibility relations in the system CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O as a pressure-temperature indicator // American Mineralogist. 1976. Vol. 61. P. 699–709.

Craig J. R. Phase Relations and Mineral Assemblages in the Ag-Bi-Pb-S System // Mineralium Deposita. 1967. N 1. P. 278–306.

Craig J. R., Barton P. B. Thermochemical approximations for sulfosalts // Econ. Geol. 1973. N 68. P. 493–506.

Eugster H. P., Yoder H. S. The join muscovite-paragonite // Carnegie Inst. Washington, Ann. Rep. Dir. Geophys. Lab., 1954–1955. 1955. 124 p.

Frey M., Niggli E. Margarite, an important rock-forming mineral in regionally metamorphosed low-grade rocks // Naturwiss. 1972. N 59. P. 214–215.

Groves D. I., Goldfarb R. J., Robert F., Hart C. J. R. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance // Economic Geology. 2003. Vol. 98. P. 1–29.

Kitakaze A., Sugaki A., Iton H., Komatsu R. Revision of phase relations in the system Fe-Ni-S from 650° to 450 °C // The Canadian Mineralogist. 2011. Vol. 49. P. 1687–1710.

Klemm D. D. Synthesen und Analysen in den Dreiecks diagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS₂-CoS₂-NiS₂ // Neues Jahrbuch fuer Mineralogie Abhandlungen. 1965. N 103. P. 205–255.

Kullerud G. Thermal stability of pentlandite // Can. Mineral. 1963. N 7. P. 353–366.

Lambert R. St. J. The mineralogy and metamorphism of the Moine Schists of the Morar and Knoydart districts of Inverness-shire // Trans. Roy. Soc. Edin. 1959. Vol. 63. 553 p.

Naldrett A. J., Kullerud G. A study of the Strathcona Mine and its bearing on the origin of the nickel-copper ores of the Sudbury district, Ontario // J. Petrol. 1967. N 8 (3). P. 453–531.

Patter R. W., Barnes H. L. Phase relation in the Binary Hg-S // Amer. Mineralogist. 1978. Vol. 63, N 11–12. P. 1143–1153.

Sagon J. P. Le metamorphisme dans le nord-est du bassin de Chateaulain: decouverte de chloritoide et de margarite dans les schistes devoniens. C. R. Soc. Gbol. France, 1967. N 5. P. 206–207.

Shikazono N. A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid implications from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan // Econ. Geol. 1985. Vol. 80, N 5. P. 1415–1424.

Skinner B. J., Luee F. D., Makovicky E. Studies of the sulfosalts of copper. III. Phases and phase relations in the system Cu-Sb-S // Econ. Geol. 1972. Vol. 67. P. 924–938.

Stumpel E. F., Rucklidge J. New data on natural phases in the system Ag-Te // Amer. Miner. 1968. Vol. 53. P. 1513–1522.

Toulmin P., Barton P. B., Wiggins L. B. Commentary on the sphalerite geobarometer // Amer. Miner., 1991. Vol. 76. P. 1038–1051.

Velde B. The stability and natural occurrence of margarite // Mineral. Mag. 1971. N 38. P. 317–323.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Иващенко Василий Иванович

ведущий научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: ivashche@krc.karelia.ru

Голубев Анатолий Иванович

зав. лаб. магматизма, палеовулканологии
и металлогении, к. г.-м. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: golubev@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 769824

Ivashchenko, Vasily

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ivashche@krc.karelia.ru

Golubev, Anatoly

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: golubev@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 769824

Ибрагимов Михаил Мухамедович

аспирант

Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

Ромашкин Александр Евгеньевич

научный сотрудник

Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
тел.: (8142) 769824

Ibragimov, Mikhail

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

Romashkin, Alexandr

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
tel.: (8142) 769824