

УДК 551.72: [553.491+553.491.8+553.078+553.04]

МИНЕРАЛОГИЯ И ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА КЛИМОВСКОГО КОМПЛЕКСНОГО БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (БЕЛОМОРСКИЙ ПОДВИЖНЫЙ ПОЯС)

В. И. Иващенко, А. Е. Ромашкин

Институт геологии Карельского научного центра РАН

Приведены оригинальные результаты прецизионных минералого-геохимических исследований рудоносных метасоматитов Климовского комплексного благороднометалльного проявления в Беломорском подвижном поясе. Охарактеризованы метасоматические колонки, продуктивные минеральные ассоциации и состав главных рудных минералов. Сделаны выводы о вероятном генезисе рудопроявления и перспективах этого типа оруденения в Карельском регионе.

Ключевые слова: Климовское благороднометалльное проявление, Беломорский подвижный пояс, офиолиты, листвениты, пропилиты, золото, платина, палладий, хромиты.

V. I. Ivashchenko, A. E. Romashkin. MINERALOGY AND GENESIS OF THE KLIMOVSKOYE COMPLEX NOBLE-METAL OCCURRENCE, BELOMORIAN MOBILE BELT

The original results of the high-precision mineralogical and geochemical study of ore-bearing metasomatic rocks from the Klimovskoye complex noble-metal occurrence, located in the Belomorian mobile belt, are reported. Metasomatic columns, productive mineral assemblages and ore mineral compositions are described. Conclusions about the presumed genesis of the occurrence and the prospects of this type of mineralization for the Karelian region are drawn.

Key words: Klimovskoye noble-metal occurrence, Belomorian mobile belt, ophiolites, listwanites, propylites, gold, platinum, palladium, chromites.

Введение

В Беломорском мобильном поясе (БМП) проявления благороднометалльной рудной минерализации свекофеннского возраста, относящиеся, вероятно, к мезотермальному орогеническому типу, контролируются разномасштабными (мощность – до 100 м, протяженность – до км) зонами сдвиговых дислокаций и сингенетичных им диафоритов фации биотит-мусковитовых гнейсов (рис. 1). Эти рудные объекты по некоторым

своим параметрам предположительно соответствуют промышленному типу комплексных (с Au и МПГ) большеобъемных месторождений с невысокими содержаниями рудных элементов, но значительными запасами. Они известны в беломорском комплексе Северной Карелии и охарактеризованы на Лоушском, Плотинском, Малиноваракском участках [Ручьев, 2002], а в последние годы выявлены в пределах Климовского рудного узла [Петров и др., 2007], который в этом аспекте является наиболее перспективным.

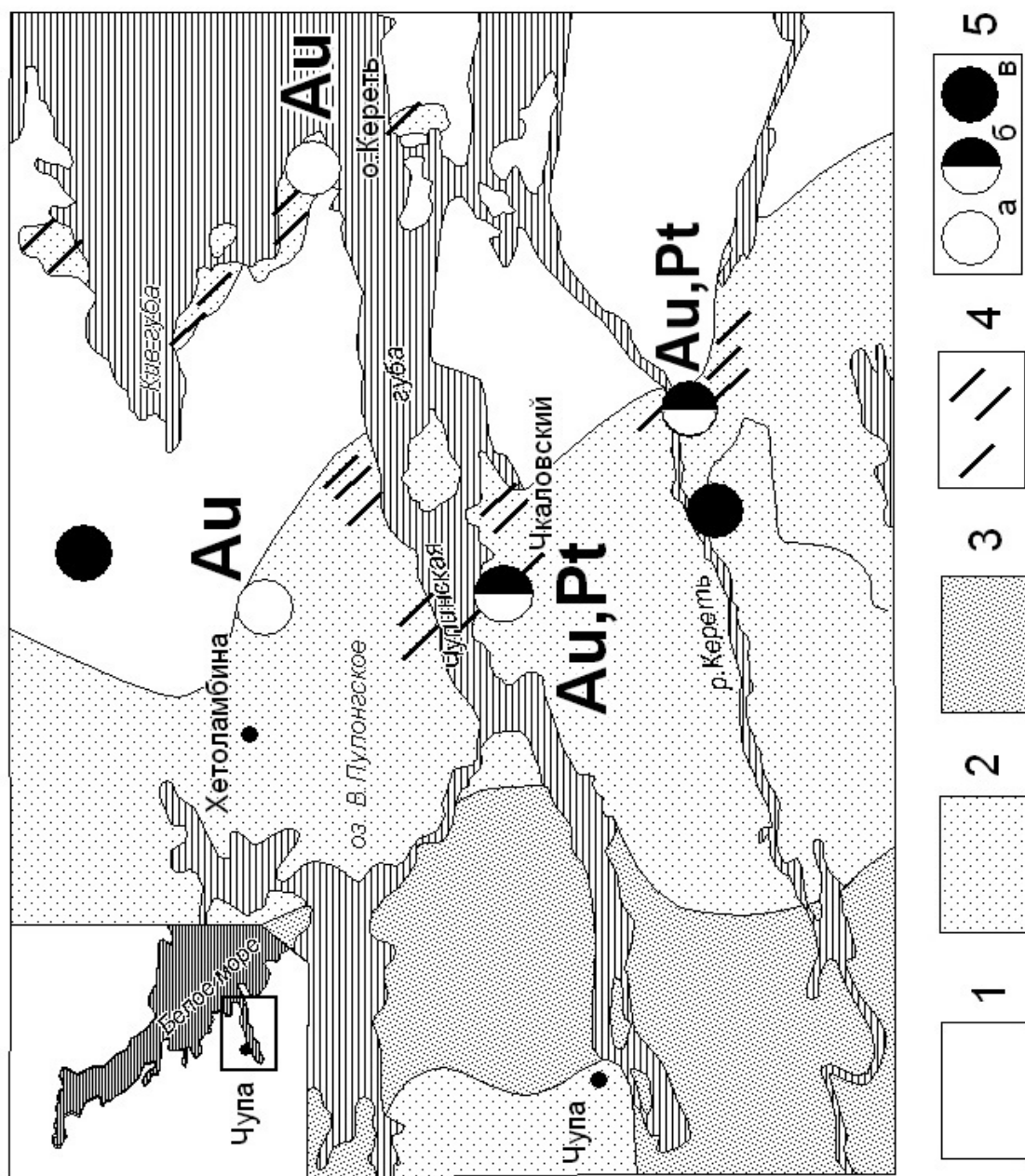


Рис. 1. Схема размещения рудопроявлений золота и платины в Чупино-Луухском районе (по: [Ахмедов и др., 2001] с дополнениями):

1 – керетьская свита (биотитовые гнейсы, гранитогнейсы); 2 – хетоламбинская свита (амфиболовые гнейсы, амфиболиты); 3 – лоухская свита (кианит-гранат-биотитовые гнейсы); 4 – зоны сульфидизации; 5 – колчеданные рудопроявления: а – золоторудные, б – комплексные благороднометалльные (Au, Pt, Pd, Ag), в – неустановленной специализации

В составе беломорского комплекса Северной Карелии выделяется совокупность геологических образований, отвечающая области распространения пород чупинской и хетоламбинской толщ (тектонических покровов) Чупино-Беломорского зеленокаменного пояса – ЧБЗП [Ахмедов и др., 2005], подвергшегося, вероятно, впоследствии раннепротерозойскому рифтингу. Обстановка неоднократно активизированного ЧБЗП оценивается как потенциально-продуктивная в отношении формирования благороднометалльного оруденения, что подтверждается выявлением прямых признаков комплексной благороднометалльной минерализации в породах чупинской и хетоламбинской [Ручьев, 2001, 2005; Ахмедов и др., 2005] толщ, содержащих в качестве акцессорных минеральных фаз теллуриды и висмутиды палладия, платины и золото самородное [Ахмедов и др., 2005], а также впервые установленные в них муассонит, когениит, чалипит и другие карбиды, самородные – серебро, железо, никель, медь, цинкистая медь, свинец, олово и др. [Ручьев, 2001, 2002, 2005].

Наиболее перспективными на золото в региональном металлогеническом аспекте, вероятно, являются гнейсы чупинской толщи, сопоставляемой с верхней терригенной частью обобщенного разреза зеленокаменных поясов. Гнейсам всех минеральных фаций свойственно повышенное фоновое содержание благородных металлов, которое определяется особенностями протолита и характером процессов его переработки в архее и протерозое (2,9–1,75 млрд лет назад) [Ручьев, 2001, 2005 и др.].

В качестве наиболее золотоносного выделен свекофеннский (1,96–1,75 млрд лет) структурно-метаморфический комплекс, представленный разномасштабными, в том числе очень крупными (мощность – до нескольких сотен метров, прослеженная длина по простиранию – до нескольких километров), зонами сдвиговых дислокаций и сингенетичных им диафоритов фации биотит-мусковитовых гнейсов (гнейсов-4) [Голубев и др., 2007]. Сдвиговые дислокации характеризуются полифазной историей формирования, обусловившей их сложную внутреннюю структуру и взаимоотношения.

Элементный спектр платиноидов в минеральных фациях чупинских гнейсов аналогичен таковому полиморфных хромититов офиолитовых комплексов, что свидетельствует о мантийном первоисточнике благородных металлов и усиливает аргументацию в подтверждение рифтогенной природы ЧБЗП [Ручьев, 2006].

Региональные зоны метасоматических преобразований в хетоламбинской толще представляются перспективными на комплексное благо-

роднометалльное оруденение [Шевченко, 2011]. Самые известные и, вероятно, наиболее перспективные рудопроявления данного типа объединяются в составе Климовского рудного узла [Петров и др., 2007; Шевченко и др., 2009], характеризующегося широким распространением горизонтов золото- и МПГ-содержащих метасоматитов (красно-коричневый высокотитанистый и железистый биотит + хлорит + актинолит + средне-кислый хлор-скаполит), развитых по ортоамфиболитам и амфиболовым сланцам. Формирование метасоматитов связывается со свекофеннской эпохой тектоно-термальной активизации (1,85–1,7 млрд лет) и контролируется протяженными зонами сдвиговых дислокаций. Метасоматиты содержат рассеянную сульфидную вкрапленность (пирит, пирротин, халькопирит, пентландит, виоларит), иногда линзовидные обособления массивных колчеданных руд. Отмечаются также минералы благородных металлов – теллуриды и висмутотеллуриды палладия (меренскит, майченерит, мончеит, котульскит), изредка арсениды. В пределах рудного узла выделено шесть согласно залегающих протяженных (свыше 9 км) горизонтов рудоносных метасоматитов со средней мощностью 30 м, имеющих комплексную медно-никелевую (Ni – 0,28–0,5 %, Cu – 0,26–1,0 %) и золото-платино-палладиевую (Pd – 0,23–1,4 г/т, Pt – 0,16–0,3 г/т), Au (0,3–0,6 г/т) специализацию. Здесь же отмечаются субвертикальные секущие зоны кварц-серицитовых изменений с высокими содержаниями золота: в штучных пробах – до 48,6 г/т, в бороздовых – на инт. 1 м до 7,72 г/т. По результатам технологических испытаний, выполненных в ОАО Институт «Гипроникель», рудоносные метасоматиты Климовского рудного узла являются бедными, но хорошо обогащаемыми благороднометалльными рудами с палладиевой специализацией [Петров и др., 2007].

Суммарные прогнозные ресурсы категории P1 + P2 по Климовскому рудному узлу составляют: Au – 36,4 т, Pt – 19,5 т, Pd – 27,9 т, Cu – 316 тыс. т, Ni – 340 тыс. т [Петров и др., 2007], что соответствует масштабам среднего комплексного большеобъемного месторождения. При проведении дальнейших геологоразведочных работ последующих стадий имеются высокие перспективы на перевод Климовского рудного узла в класс крупных большеобъемных комплексных (Cu, Ni, Au, МПГ) месторождений.

Несмотря на то что для данного рудного узла уже подсчитаны ресурсы благородных металлов и проведены технологические испытания руд, многие вопросы, касающиеся минерального состава рудоносных метасоматитов,

их зональности, времени образования и генезиса, остаются по настоящее время слабо изученными и дискуссионными.

Проведенные нами на современном научном оборудовании (SEM VEGA II LSN с микроанализатором INCA Energy 350, ИГ КарНЦ РАН; ICP-MS, ИГЕМ РАН) минералого-геохимические исследования рудоносных метасоматитов Климовского рудного узла позволили установить наличие ряда новых для них редких минералов и охарактеризовать состав типоморфных рудных (хромшпинелиды, ильменит) и породообразующих (слюды, хлориты, пренит, цеолиты и др.) минералов, что в совокупности уточняет и дополняет данные по минералогии метасоматитов и раскрывает некоторые генетические вопросы.

Минералогия рудоносных (Pd, Pt, Au, Ag, Ni, Cu, Co, Cr) метасоматитов

В пределах Климовского рудного узла наиболее доступным для изучения и перспективным благороднометалльным объектом является одноименное проявление, частично вскрываемое пегматитовым карьером. Рудопроявление характеризуется широким распространением Cu, Ni, Cr, Au, Ag, Pd, Pt-содержащих метасоматитов, развитых преимущественно по амфиболитам, являющихся, вероятно, измененными основными породами комплекса лерцолитов-габброноритов [Степанов, 1981; Корпечков, 2009] или расслоенными мафит-ультрамафитами архейского возраста, единичные массивы которых выявлены на Фенноскандинавском щите и продатированы в последние годы [Пожиленко, 2009]. Наиболее продуктивны среди этих метасоматитов разнообразные пропилиты с доминированием хлоритовых ассоциаций, листвениты и кварц-карбонат-гидрослюдистые образования с рассеянной рудной вкрапленностью, в том числе и благороднометалльной. Они ассоциируются с более ранними пирротиновыми рудами (AR?), а также с высокохромистыми алюмосиликатными минералами более поздних лиственитов и пропилитов.

Непосредственно в Климовском пегматитовом карьере рудоносные метасоматиты вскрываются в северной и восточной стенках. Условно, по пространственной ассоциированности с различными породами, они подразделяются на два типа: в обрамлении пологих линзовидных тел сплошных пирротиновых руд и в хлоритизированных меланократовых амфиболитах по субширотным вертикальным сдвиговым дислокациям небольшой мощности (до 1–2 м).

Метасоматиты, ассоциирующиеся с колчеданами, вскрыты в верхней и нижней частях восточной стенки карьера, соответственно, Верхняя и Нижняя рудные зоны.

Верхняя рудная зона (мощность 3–5 м) сложена кианит-амфибол-слюдистыми, слюдисто-амфибол-эпидот-хлоритовыми и амфибол-эпидот-хлоритовыми метасоматитами.

Кианит-амфибол-слюдистые метасоматиты – амфибол (Cr – 1,3–1,6 %), кианит (Cr – 0,5–1,5 %), хлорит (Cr – 1,5–1,8 %), пренит, флогопит (Cr – 2,2 %, f – 28 %), гидробиотит (Cr – 3 %), фуксит (Cr – 2,3 %), маргарит (парагонит – 21–32 %), маргарит-парагонит-фенгит, а также ставролит, плагиоклаз (№ 44–62), замещаемый маргарит-парагонитовой слюдой и анальцимом, и рудные – хромит (Cr_2O_3 , 25–43 %), титаномагнетит (Ti – 8,5 %), пирротин, халькопирит, пирит, пентландит и котульскит) (рис. 2) (табл. 1, 2).

Слюдисто-амфибол-эпидот-хлоритовые метасоматиты – амфибол (Cr – 0,72–1,22 %), мусковит (парагонит 23 %), Mg-Fe хлорит, Fe-хлорит, цоизит (Cr – 1,6 %), эпидот (Cr – 1,2 %), альбит, пренит (Cl – 0,3–1 %), реликты плагиоклаза (№ 90–93) и рудные (Ni-пирит, пентландит, меренскит) (рис. 2).

Амфибол-эпидот-хлоритовые метасоматиты – амфибол (Cr – 1,6 %), цоизит (Cr – 1,4–2 %), Mg-хлорит, Fe-Mg хлорит, мусковит (Mn – 1 %), кальцит, альбит, томсонит, реликты плагиоклаза (№ 65–91), Cl-апатит. Рудные минералы – хромит (32–44 % Cr_2O_3 , Zn – 1,2–1,4 %), халькопирит, пирит, пирротин, пентландит, галенит, кобальтин, самородное золото, меренскит, котульскит. Золото – в виде микровключений в хромите и пирротине (рис. 3) (табл. 3), а висмутотеллуриды палладия – в сростании с халькопиритом в цоизите.

Нижняя рудная зона (5–8 м) – линзовидное тело массивных пирротиновых руд, окруженное полосчатыми амфибол-биотит-плагиоклаз (№ 42)-хлоритовыми метасоматитами с небольшим количеством кварца, альбита, мусковита, эпидота, граната, F-апатита, рутила, циркона и вкрапленностью ильменита (Mn – 1,8 %) (табл. 4), пирротина, пентландита, халькопирита. Сама рудная линза сложена преимущественно пирротином, в подчиненном количестве пирритом, халькопиритом, пентландитом, сфалеритом, ильменитом. В местах замещения сульфидов Fe- и Fe-Mg-хлоритами, развития кварца, эпидота, цоизита и пренита отмечаются микровыделения меренскита, котульскита, майченерита, самородных свинца и никеля, мелонита, висмутотеллуридов, электрума, барита, гесита (рис. 4).

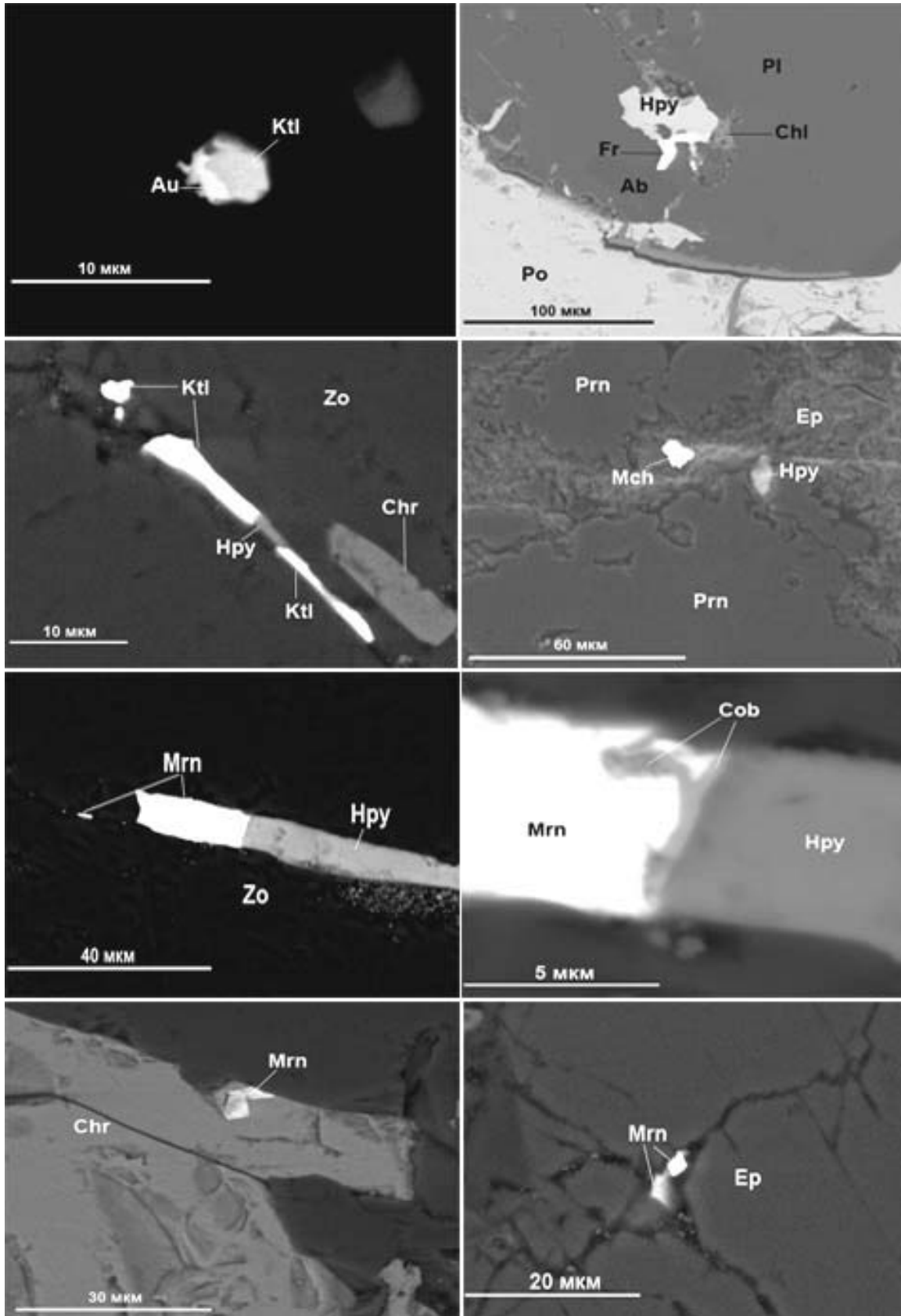


Рис. 2. Золото-платинометалльная минерализация Климовского рудопроявления:

Au – золото самородное; Ktl – котульскит, Pd(Te, Bi); Fr – фрудит, PdBi₂; Mch – майченерит, PdBiTe; Mrn – меренскит, Pd(Te, Bi)₂; Hpy – халькопирит; Po – пирротин; Chr – хромит; Cob – кобальтин, CoAsS; Ab – альбит; Chl – хлорит; Ep – эпидот; Pl – плагиоклаз; Prn – пренит; Zo – цоизит

Таблица 1. Химический состав хромшпинелидов Климовского рудопроявления

	KI/5-16-1	KI/5-16-2	KI/5-4-6	KI/5-1-1	KI/10-5-5	KI/5-10-8	KI/12-7-3	KI/5-5-1	KI/12-2-5	KI/12-3-7	KI/12-8-1	KI/12-1-6	KI/12-9-1	KI/10-6-4
FeO	35,42	35,72	38,72	36,68	37,28	39,75	38,82	38,46	38,82	38,45	36,00	40,27	36,85	34,55
MgO	2,17	1,30	1,58	1,98				2,05			1,60		1,31	
MnO											1,05		1,04	
ZnO											1,04		1,56	
CaO							0,78							
Cr ₂ O ₃	54,86	53,12	50,76	50,74	49,40	48,53	46,29	46,04	44,87	44,52	43,36	43,09	41,97	41,44
Al ₂ O ₃	7,55	8,95	8,93	10,60	13,32	11,72	14,10	13,44	16,31	17,03	16,95	16,64	17,27	24,01
V ₂ O ₅		0,90												
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты														
Fe ²⁺	0,94	0,96	0,95	0,94	1,00	1,00	0,97	0,94	1,00	1,00	0,86	1,00	0,86	0,96
Mg ²⁺	0,06	0,04	0,05	0,06				0,06			0,08		0,07	
Mn ²⁺											0,03		0,03	
Zn ²⁺											0,03		0,04	
Ca ²⁺							0,03							
Cr ³⁺	1,58	1,51	1,44	1,44	1,38	1,38	1,30	1,30	1,24	1,23	1,19	1,20	1,16	1,09
Al ³⁺	0,32	0,38	0,45	0,45	0,55	0,50	0,59	0,45	0,67	0,70	0,69	0,68	0,71	0,94
Fe ³⁺	0,14	0,12	0,23	0,21	0,10	0,20	0,18	0,21	0,14	0,12	0,18	0,18	0,21	
V ⁵⁺		0,02												
#Cr	0,83	0,80	0,76	0,76	0,72	0,73	0,69	0,74	0,65	0,64	0,63	0,64	0,62	0,54
Cr*	0,77	0,75	0,68	0,69	0,68	0,66	0,63	0,66	0,60	0,60	0,58	0,58	0,56	0,54
#Mg	0,06	0,04	0,05	0,06	–			0,06			0,08		0,07	

Окончание табл. 1

	KI/12-11-1	KI/10-5-4	KI/20-1-7	KI/12-11-2	KI/10-5-3	KI/10-1-12	KI/10-1-10	KI/10-2-11
FeO	38,10	38,84	36,89	35,36	37,17	37,42	34,55	34,78
MgO	1,29		1,46	2,33	1,96		2,90	3,55
MnO			1,35					
ZnO	1,55			1,72				
CaO								
Cr ₂ O ₃	40,65	35,76	33,41	33,00	32,90	32,61	24,50	23,33
Al ₂ O ₃	18,42	25,40	26,88	27,59	27,97	29,97	38,04	38,55
V ₂ O ₅								
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты								
Fe ²⁺	0,89	1,00	0,89	0,84	0,90	1,00	0,87	0,84
Mg ²⁺	0,07		0,07	0,12	0,10		0,13	0,16
Mn ²⁺			0,04					
Zn ²⁺	0,04			0,04				
Ca ²⁺								
Cr ³⁺	1,11	0,95	0,87	0,86	0,85	0,84	0,60	0,57
Al ³⁺	0,75	1,00	1,05	1,06	1,06	1,15	1,38	1,39
Fe ³⁺	0,21	0,09	0,12	0,13	0,11	0,02	0,02	0,06
V ⁵⁺								
#Cr	0,60	0,49	0,45	0,45	0,45	0,42	0,30	0,29
Cr*	0,54	0,47	0,43	0,42	0,42	0,42	0,30	0,28
#Mg	0,07		0,07	0,12	0,10			

Примечание. #Cr = Cr/(Cr + Al); Cr* = Cr/(Cr + Al + Fe³⁺); #Mg = Mg/(Mg + Fe²⁺).

Таблица 2. Состав минералов элементов платиновой группы Климовского рудопроявления

	KL/12-4-1	KL/12-6-1	KL/11-13-1	KL/20-12-1	KL/12-7-1	KL/10-8-1	KL/13-13-1	KL-2-2	KL/21a-4-1	KL-K1	KL-K2
Pd	25,74	25,78	27,28	27,39	38,22	37,81	41,20	21,94	24,30	23,70	23,51
Bi	22,95	21,91	22,05	11,91	28,63	33,38	17,47	78,06	45,87	46,98	46,62
Te	51,30	52,31	50,68	60,71	33,15	28,82	41,34		29,83	29,32	29,87
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты											
Pd	0,99	0,96	1,00	0,98	0,95	0,96	0,97	1,07	1,00	0,99	0,98
Bi	0,42	0,42	0,43	0,22	0,36	0,43	0,21	1,93	0,97	0,99	0,98
Te	1,59	1,62	1,57	1,81	0,69	0,61	0,82		1,03	1,02	1,04

Примечание. KL/12-4-1, KL/12-6-1, KL/11-13-1, KL/20-12-1 – меренскит; KL/12-7-1, KL/10-8-1, KL/13-13-1 – котульскит; KL-2-2 – фрудит; KL/21a-4-1, KL-K1, KL-K2 – майченерит.

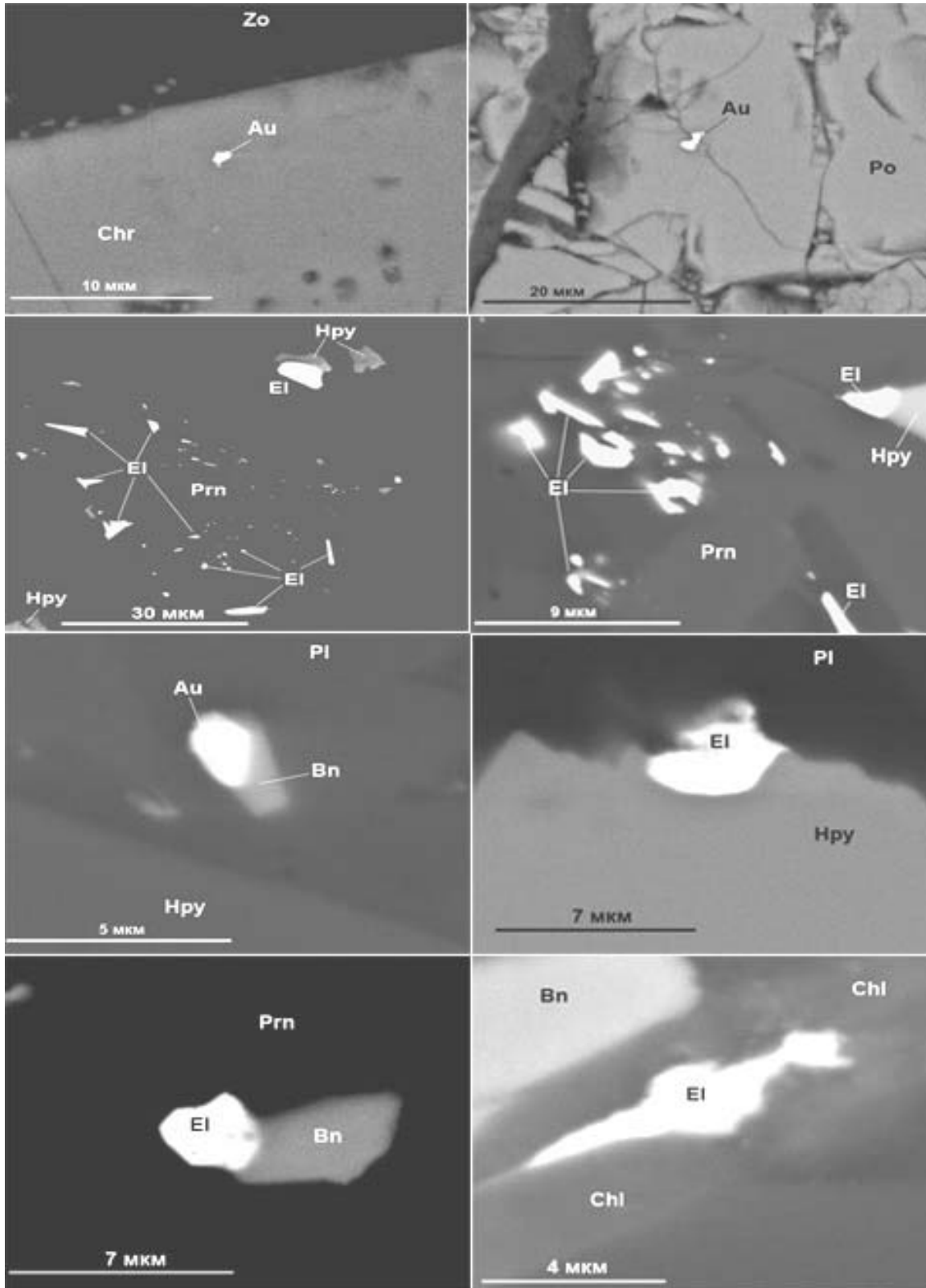


Рис. 3. Характерные морфотипы золота самородного и электрума в рудах Климовского проявления:

Au – золото самородное; EI – электрум; Bn – борнит; Chl – хлорит; Chr – хромит; Hpy – халькопирит; Po – пирротин; Prn – пренит

Таблица 3. Состав золота самородного и электрума Климовского рудопроявления

	KL/13-13-2	KL/8-29-1	KL/8-27-1	KL/8-27-2	KL/8-27-3	KL/8-29-2	KL/8-9-1	KL/8-11-1	KL/8-18-1	KL/8-12-1	KL/8-17-1	KL/8-16-1
Au	83,18	71,66	69,63	67,76	67,29	66,30	67,87	62,95	49,96	49,14	48,04	46,48
Ag	16,82	28,34	30,37	32,24	32,71	33,70	36,13	37,05	50,04	50,86	51,96	53,52
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты												
Au	0,73	0,58	0,56	0,54	0,53	0,52	0,49	0,48	0,35	0,35	0,34	0,32
Ag	0,27	0,42	0,44	0,46	0,47	0,48	0,51	0,52	0,65	0,65	0,66	0,68

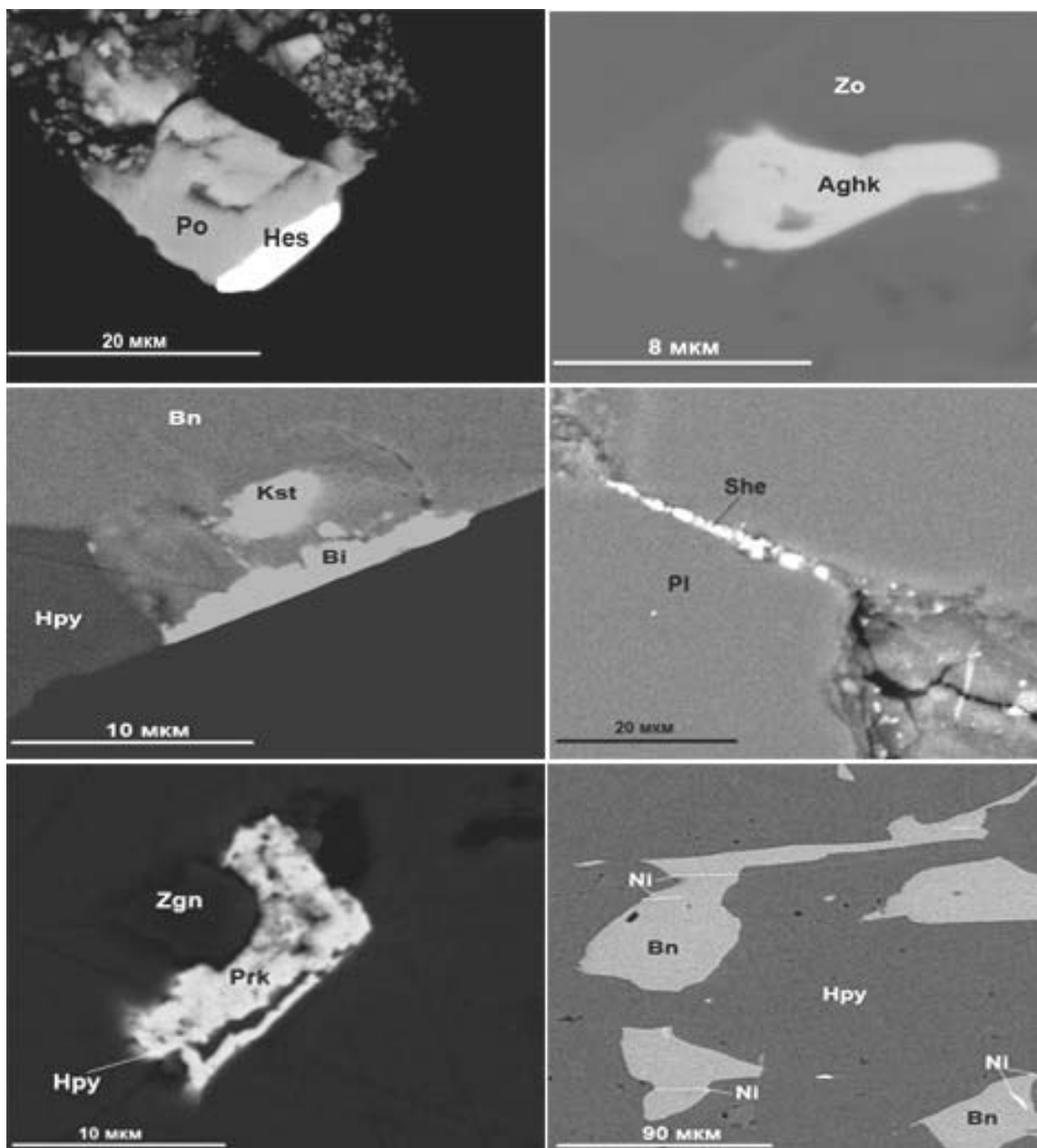


Рис. 4. Редкие минералы серебра, висмута, никеля и др. в рудах Климовского проявления:
 Aghk – арсеногаухекоцит, $Ni_9(Bi, Sb, As)_2S_8$; Bi – висмут самородный; Bn – борнит; Hpy – халькопирит; Hes – гессит, Ag_2Te ; Kst – кусацит, $CuBi_2O_4$; Po – пирротин; Ni – никель самородный; She – шеелит; Zgn – зигенит, $(Co, Ni)_3S_4$; Prk – паркерит, $Ni_3Bi_2S_2$; Zo – цоизит

Таблица 4. Состав ильменитов Климовского рудопроявления

	KI/13-4-1	KI/3-9-2	KI/13-2-1	KI/6-6-2	KI/18-2-1	KI/21a-2-1	KI/4-3-1	KI/3-8-3	KI/13-7-1	KI/13-1-5	KI/4-1-9	KI-1-3	KI/13-6-4	KI/3-1-5
FeO	41,87	42,94	44,94	42,95	45,08	45,90	45,30	45,09	45,70	45,76	46,51	45,40	45,76	45,41
MnO	5,70	4,90	3,49	3,00	2,40	2,03	1,94	1,79	1,71	1,61	1,51	1,39	1,30	1,26
TiO ₂	52,43	52,16	51,57	54,05	52,52	52,07	52,75	53,12	52,58	52,63	51,97	53,21	52,94	53,33
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты														
Fe ²⁺	0,89	0,91	0,95	0,90	0,96	0,98	0,97	0,95	0,96	0,96	0,99	0,96	0,97	0,96
Mn ²⁺	0,12	0,10	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Ti ⁴⁺	0,99	0,99	0,98	1,04	0,99	0,98	0,99	1,01	1,00	1,00	0,98	1,01	1,00	1,01

Метасоматиты в субширотных вертикальных сдвиговых дислокациях вскрыты в северной части карьера. Они развиваются по хлоритизированному (Mg-хлорит) меланократовым амфиболитам (пл. № 60–80) с повышенными содержаниями MgO (12,69 %), Cr₂O₃ (0,96 %), Li₂O (0,03 %) и слабо измененным (Mg-хлорит) амфиболитам (MgO – 6,13 %, Cr₂O₃ – 0,02 %; пл. № 50–60) с аксессуарными сфеном, рутилом (до 1 % V), ильменитом (Mn – 1–4 %) и пирротинном. В обобщенном виде в их строении выделяются 4 метасоматические зоны.

1. Осевые части метасоматитов выполнены высокохромистыми карбонат-хлорит-слюдистыми ассоциациями состава – хромит (Cr₂O₃ 46–54 %), амфибол (Cr – 1,2 %), биотит (f = 33–41 %, Cr – 1–2,4 %), фуксит (Cr – 1,6–2–3,2 %), цоизит (Cr – 1,7–2,4 %), Mg-хлорит (Cr, 0–4 %; V, 0–0,3 %), мусковит, плагиоклаз (№ 30–50), анортоклаз, кальцит, гидробиотит (Cr – 1,3–1,4 %), альбит, пренит, кварц, рутил, сфен (Cr – 0–0,8 %) и рудные – пирротин, пирит (Ni – 1 %), пентландит, галенит (Se – 1,3 %), самородные висмут и золото, шеелит (рис. 4).

2. В сторону амфиболитов они сменяются кальцит-альбит-мусковит-парагонит-хлоритовыми (Fe-Mg-хлорит) метасоматитами с развивающимися по плагиоклазу высококремниевыми слюдами сложного состава (от мусковита до парагонита с маргаритовым – до 10 % и роскоэлитовым – до 8 % компонентами и повышенными содержаниями марганца – 0,2–1,0 %), альбитом, пренитом, натролитом и анальцимом. Метасоматиты содержат никельсодержащий (Ni – 2,4 %) пирит, халькопирит, селенистый (Se – 15 %) галенит и клаусталит в сростании со спионкопитом и долерофанитом. Принимавшиеся здесь ранее за скаполит сиреневатые минеральные обособления в действительности оказались агрегатами пренита, сложных Mn-содержащих высокремниевых слюд и реликтов основного плагиоклаза.

3. Хлорит-амфибол-слюдистые метасоматиты с коричневым биотитом (f – 38, 37; маргарит – до 20 %), замещаемым пренитом, FeMg-хлоритом и подвергающимся гидрата-

ции. Здесь же отмечаются мусковит (серицит) совместно с пренитом, мусковит-фенгит (фенгит – 40–50 %, маргарит – 30%), альбит, K-Na-полевой шпат, цоизит (Se – 1,6 %), фтор- и оксиапатит, циркон (50–100 мкм), в реликтах – плагиоклаз (№ 50), амфибол, гранат (Алм-51, Грс-23, Спс-15, Пир-11). Рудные представлены ильменитом (Mn – 2,4 %), сфалеритом, галенитом, пиритом, кобальтином, халькопиритом, самородным свинцом.

4. Амфибол-альбит-цоизит-пренит-тюрингитовые метасоматиты (CuO – 0,33 %) содержат тонкую вкрапленность халькопирита, борнита и ассоциирующихся с ними микровыделений паркерита, зигенита, арсеногаухекорнита, виттихенита, гессита, штютцита, никеля сам. и неидентифицированной фазы – Ag₅Te₃BiS (рис. 4). Местами в них отмечаются кварцевые прожилки, содержащие в зальбандах кобальтин, самородный висмут, бисмит, кусатиит, сфалерит, электрум (Au₃₅₋₆₁Ag₃₉₋₆₅). Электрум встречается в сростках с борнитом в плагиоклазе № 60 и прените, а также в халькопирите и тюрингите.

Обсуждение результатов

Полученные результаты, свидетельствующие о широком распространении в рудоносных метасоматитах Климовского проявления как высокотемпературных (кианит, гранат), так и низкотемпературных (до цеолитов) минеральных ассоциаций, наряду с их «пестрым» строением, осложненным наличием большого числа преимущественно линзовидных и пластовых тел слабо измененных амфиболитов, крайне осложняют реконструкцию протолита, служившего субстратом для их формирования. В этом аспекте важное генетическое значение имеют минералы, относительно устойчивые в метаморфо-метасоматических процессах. Одним из таких минералов-индикаторов при типизации магматических пород является хромшпинелид [Плаксенко, 1989; Griffin et al., 1993; Степанов и др., 2003; Перевозчиков и др., 2004; Рыкус и др., 2007 и др.].

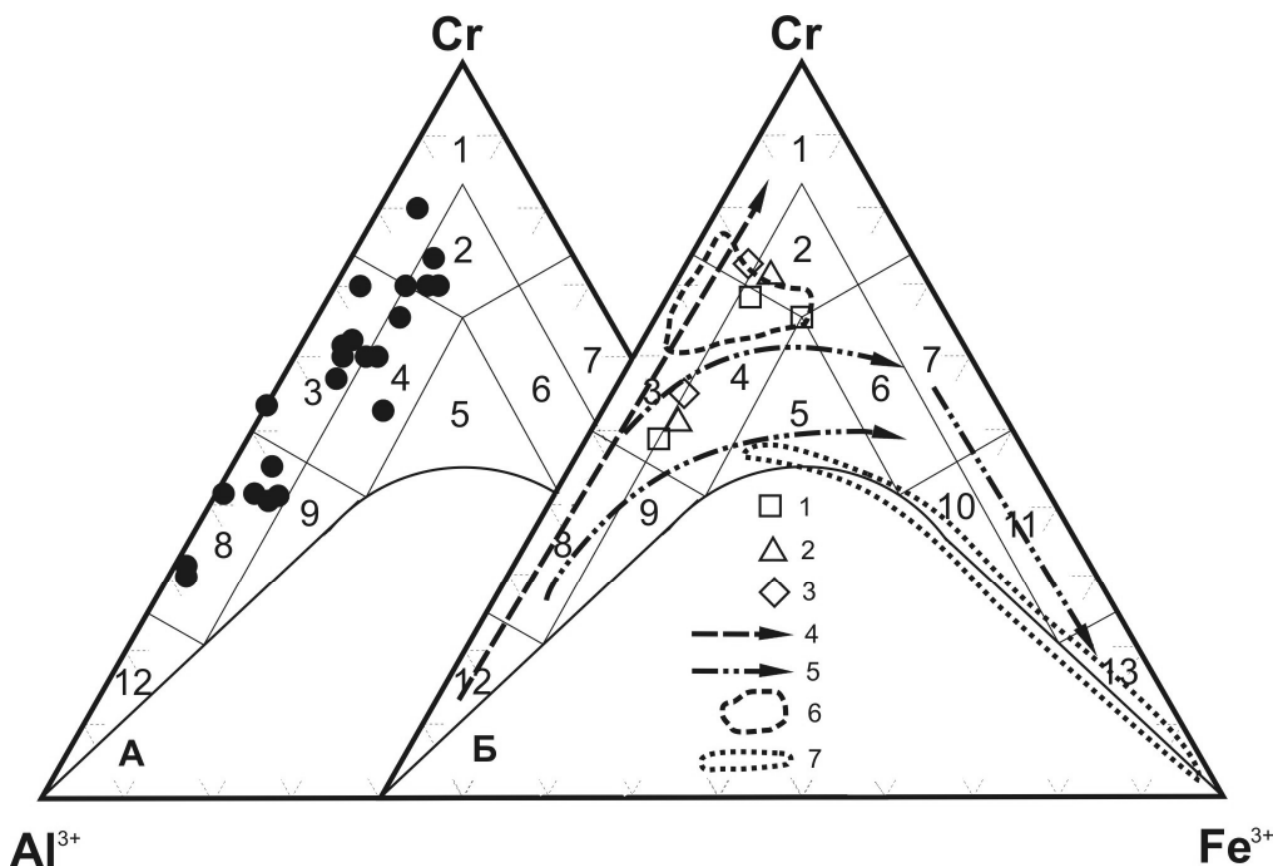


Рис. 5. Состав хромшпинелидов Климовского рудопроявления (А) и средние составы хромшпинелидов из различных типов руд офиолитовых массивов Полярного Урала и метаультрабазитов Беломорского мобильного пояса (Б):

1–3 – массивы: 1 – Рай-Из, 2 – Войкаро-Сыньинский, 3 – Кимперсайский; 4, 5 – тренды эволюции состава хромшпинелида из ультрабазитов [Перевозчиков и др., 2004]; 4 – первичный тренд дифференциации в верхней мантии, 5 – вторичные тренды метаморфических преобразований в коровых условиях; 6 – поле составов хромшпинелидов Бураковского плутона в Карелии [Николаев, 2009]; 7 – поле составов хромшпинелидов из метаультрабазитов оз. Серяк Беломорского мобильного пояса [Степанов и др., 2003]; 1–13 – подсемейства хромшпинелидов: 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – алюмохромит, 4 – субферрихромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – субалюмоферрихромит, 7 – феррихромит, 8 – хромпикотит, 9 – субферрихромпикотит, 10 – суалюмохроммагнетит, 11 – хроммагнетит, 12 – пикотит, 13 – магнетит

Состав хромшпинелидов на Климовском проявлении варьирует от хромпикотита до хромита и субферрихромита (рис. 5). Содержание MgO в хромшпинелидах достигает 3,6 %, MnO – 1,35 %, ZnO – 1,72 % (табл. 1). В единичных анализах отмечается присутствие CaO – 0,78 % и V₂O₅ – 0,90 %. Соответственно их хромистость ($\#Cr = Cr/(Cr+Al)$) изменяется от 0,29 до 0,83, а максимальная магнезиальность ($\#Mg = Mg/(Mg+Fe^{2+})$) составляет 0,12. Такие особенности состава хромшпинелидов свидетельствуют о доминирующем типе изоморфизма в них по «Р тренду» ($Cr^{3+} - Al^{3+}$) при практически непроявленном изоморфизме по «fO₂ тренду» ($Fe^{2+}+Ti^{4+} - 2Cr^{3+}$), обычно характерном для метаморфических преобразований хромшпинелидов в коровых условиях [Горбачев и др., 2006] и отчетливо проявленном в хромшпинелидах ультрабазитов района оз. Серяк в Беломорском мобильном поясе [Степа-

нов и др., 2003]. При метаморфизме из хромшпинелидов происходит практически полный вынос Al, Mg и значительная часть Cr, сопровождаемый привнесом Fe и переходом его из двухвалентного в трехвалентное состояние [Рыкус и др., 2007]. Исходя из этого, установленные вариации составов хромшпинелидов Климовского проявления определялись, вероятно, не метаморфизмом, а метасоматическими преобразованиями, в конечном итоге приведшими к формированию лиственитов, пропилитов и березитоидов. В таком случае предполагается, что наиболее хромистые хромшпинелиды (хромиты и субферрихромиты) являются производными алюмохромитов исходных магматических пород, которыми, наиболее вероятно, могли быть офиолиты, и образованы в процессе их лиственитизации. Это не противоречит типохимическим особенностям хромшпинелидов офиолитовых комплексов (обычно

алюмохромиты) и формации лиственинов, характеризующихся сравнительно высокой хромистостью [Спиридонов и др., 1998 и др.]. Присутствие в исследуемых хромшпинелидах процентных содержаний марганца и цинка (табл. 1) также является показательным для их сопоставления со шпинелидами докембрийских офиолитов. Примерно такой же уровень содержания этих элементов зафиксирован в хромшпинелидах офиолитов Оутокумпу и Йормуа в Финляндии [Vuollo, Piirainen, 1989]. Не противоречат такому сопоставлению и особенности состава ильменита Климовского проявления (табл. 4), местами ассоциирующегося с хромшпинелидами, хотя высокие содержания в нем марганца (до 6 %), возможно, обусловлены уже процессами, ответственными за формирование пегматитов, ильмениты которых в целом отличаются повышенной марганцовистостью [Багдасаров, 2010].

На данной стадии исследований Климовского проявления оценить РТ параметры гидротермально-метасоматических преобразований офиолитов представляется возможным только в первом приближении. Согласно шпинелевому геотермометру [Griffin et al., 1993], температура образования хромитов Климовского проявления по количественному содержанию в них цинка оценивается в 400–460°. Примерно такой же температурный интервал получается и по ильменит-железооксидному геотермометру [Spencer, Lindsley, 1981]. Однако широкое распространение в рудоносных метасоматитах висмута самородного, гессита, штюцитита, пренита, гидрослюд сложного состава и цеолитов (натролит, анальцим, томсонит и др.) является индикатором гораздо более низкотемпературных условий (<<200°), возможно связанных уже с пегматитовым процессом.

Таким образом, основываясь на приведенных данных по составу хромшпинелидов из различных магматических комплексов и трендах эволюции их составов при метасоматозе и метаморфизме, представляется, что в метасоматитах Климовского проявления присутствуют хромшпинелиды офиолитового парагенезиса и разных стадий их метасоматических преобразований, специфика которых заключалась в проявлении изоморфизма преимущественно по «*P* тренду». То есть гидротермально-метасоматическая переработка офиолитов происходила при достаточно значительном падении давления во флюидной системе, что, несомненно, способствовало распаду переносимых растворами комплексных соединений и рудоотло-

жению. В составе рудных ассоциаций выделяются как унаследованные рудные минералы (хромшпинелиды, ильменит, пирротин, пентландит и др.), так и новообразованные – преимущественно благороднометалльные, а также висмутиды, висмутотеллуриды, селениды и др. Минералы платиновой группы представлены преимущественно системой Pd-Bi-Te (табл. 2) и более редкими – сперритом и родий- и палладийсодержащим кобальтин-герсдорфитом. Минералами-носителями золота являются золото самородное и электрум (табл. 3). По данным микрозондового анализа, в золоте на пороге чувствительности (0,1 %) отмечается присутствие ртути, что, вероятно, является признаком глубинного происхождения рудопродуцирующих растворов [Patter, Barnes, 1978]. По совокупности данных Климовское рудопроявление классифицируется нами как орогенное мезотермальное.

Выводы

Рудоносные метасоматиты Климовского рудного узла формировались по офиолитовому комплексу с доминированием метаморфо-метасоматических преобразований по «*P* тренду» при редуцированном проявлении изменений по «*fO₂* тренду». Наиболее продуктивными на благороднометалльную минерализацию метасоматитами на Климовском проявлении являются пропилиты железисто-хлоритовых ассоциаций, лиственины и кварц-карбонат-гидрослюдистые образования с хромсодержащими минералами, пренитом и цеолитами (натролит, томсонит, анальцим). Структурный контроль и возраст [Шевченко и др., 2009; Астафьев и др., 2010] благороднометалльной минерализации Климовского проявления дискуссионны. Наиболее вероятным представляется его полигенно-полихронное происхождение (AR-PR) в региональных сдвиговых зонах свекофеннского возраста с участием архейских офиолитовых комплексов и золотосодержащих колчеданных руд (фальбандов), известных в Чупинской губе Беломорья еще с начала прошлого века [Гинсбург, 1921] и выявленных позднее [Ахмедов и др., 2001] на полуострове Картеш, в районе рудников Хетоламбино, Чкаловский, Булка и др.

Литература

Астафьев Б. Ю., Воинова О. А., Воинов А. С., Проскурин Г. Ю. Прогнозная оценка золотоносности зон сочления архейских гранит-зеленокаменных об-

ластей и подвижных поясов Карело-Кольского региона // *Материалы Всерос. конф. Самородное золото*. Т. 1. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 47–49.

Ахмедов А. М., Воинова О. А., Калабашкин С. П. и др. Компьютерная карта золотоносности докембрия Карельского региона масштаба 1 : 1 000 000: Анализ перспектив // *Региональная геология и металлогения*. 2001. № 13–14. С. 84–104.

Ахмедов А. М., Шевченко С. С., Симонов О. Н. и др. Новые типы проявлений благороднометалльной минерализации в зеленокаменных поясах позднего архея Карело-Кольского региона // *Геология и геодинамика архея*. СПб.: Центр информационной культуры, 2005. С. 34–38.

Багдасаров Э. А. Типохимические особенности кристаллохимических параметров ильменитов и их прикладное значение // *Региональная геология и металлогения*. 2010. № 44. С. 34–41.

Гинсбург И. И. Полезные ископаемые побережья Кандалакшского залива Белого моря // *Петроград. Труды Северной научно-промысловой экспедиции*. 1921. Вып. 7. 64 с.

Голубев А. И., Иващенко В. И., Трофимов Н. Н., Ручьев А. М. Металлогения и оценка перспектив Карелии на крупные комплексные благороднометалльные месторождений // *Геология и полезные ископаемые Карелии*. Вып. 10. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 91–116.

Горбачев Н. С., Костюк А. В., Некрасов А. Н., Сулганов Д. М. Минералы – как индикаторы поро-до- и рудообразования // *Теория, история, философия и практика минералогии: Материалы IV Междунар. минер. семинара*. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 109–111.

Корпечков Д. И. Климовское корундовое проявление, Северная Карелия: некоторые петрографические особенности // *Материалы XX Рос. конф. молодых ученых, посвящ. памяти чл.-кор. АН СССР К. О. Кратца*. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2009. С. 94–97.

Николаев Г. С. Условия кристаллизации первично-магматического хромита при формировании Бураковско-Аганозерского расслоенного массива Заонежья // *Материалы 3-й Междунар. конф. «Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения»*. Качканар, 2009. С. 75–79.

Перевозчиков Б. В., Плотников А. В., Макиев Т. Т. Природа вариаций состава рудной и акцессорной хромшпинели ультрабазитового массива Сьюм-Кеу (Полярный Урал) // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении*. Науч. чтения памяти П. Н. Чирвинского. Вып. 6. Пермь: Перм. ун-т, 2004. С. 170–180.

Петров О. В., Шевченко С. С., Ахмедов А. М. Новые промышленные типы комплексных руд благородных и цветных металлов в докембрии восточной части Балтийского щита // *Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерагения Северо-Запада России: Материалы Всерос. конф. (Петрозаводск, 12–15 ноября 2007 г.)*. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 292–296.

Плаксенко А. Н. Типоморфизм акцессорных хромшпинелидов ультрамафит-мафитовых магматических формаций. Воронеж, 1989. 224 с.

Пожиленко В. И. Позднеархейский расслоенный диорит-базит-гипербазитовый массив Оспелувтуайвенч (Кольский полуостров) // *Сборник материалов проекта Интеррег-Тасис: Стратегические минеральные ресурсы Лапландии – основа устойчивого развития Севера*. Вып. II. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. С. 89–96.

Ручьев А. М. Геологические предпосылки развития рудной сырьевой базы горнодобывающей промышленности в Лоухском районе Республики Карелия // *Материалы Междунар. конф. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2001. С. 70–78.*

Ручьев А. М. Благородные металлы в гнейсах чупинской свиты (беломорский комплекс, Северная Карелия) // *Геология и полезные ископаемые Карелии*. Вып. 5. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2002. С. 47–58.

Ручьев А. М. Благородные металлы в гнейсах чупинской свиты (беломорский комплекс) // *Геология и геодинамика архея: Материалы I Рос. конф. по пробл. геол. и геодин. докембрия*. СПб.: Центр информационной культуры, 2005. С. 324–329.

Ручьев А. М. Платиноиды парагнейсов чупинской свиты и проблема архейских офиолитов беломорского комплекса Балтийского щита // *Офиолиты: геология, петрология, металлогения и геодинамика*. Материалы Междунар. науч. конф. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 305–308.

Рыкус М. В., Бажин Е. А., Савельев Д. Е., Сначев В. И. Геология и геохимические особенности ультрабазитов и габброидов зоны сочленения Южного и Среднего Урала (Кыштымская площадь) // *Геология и геофизика*. 2007. Т. 7, № 1. С. 72–80.

Спиридонов Э. М., Назьмова Г. Н., Соколова Н. Ф. и др. Состав и эволюция магматитов и метасоматитов инверсионных гранодиоритовых и раннеорогенных монцонитовых комплексов Казахстана и Урала и сопряженного Fe-Co (Cu, W) скарнового, Mo-Cu-порфирового, кварц-шеелитового и золото-кварцевого оруденения // *Проблемы геологии Урало-Монгольского пояса (Тр. лаборатории складчатых поясов)* / Под ред. Е. Е. Милановского и А. Б. Веймарна. М.: МГУ, 1998. С. 66–73.

Степанов В. С. Основной магматизм докембрия западного Беломорья. Л.: Наука, 1981. 216 с.

Степанов В. С., Слабунов А. И., Степанова А. В. Породообразующие и акцессорные минералы позднеархейских перидотитов района озера Серяк (Беломорский подвижный пояс Фенноскандинавского щита) // *Геология и полезные ископаемые Карелии*. Вып. 6. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2003. С. 17–25.

Шевченко С. С. Минералого-геохимические особенности рудоносных метасоматитов и перспективы выявления комплексного благороднометалльно-медно-никелевого оруденения в Беломорском подвижном поясе: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб., 2011. 20 с.

Шевченко С. С., Ахмедов А. М., Крупеник В. А., Свешникова К. Ю. Благороднометалльные метасо-

матиты позднего архея Чупино-Лоухского фрагмента Беломорской подвижной зоны // Регион. геол. и металлогения. 2009. № 37. С. 106–120.

Barton P. B., Noulmin J. B. The elektrum-tarnisch method for the determination of the fugacity sulfur in laboratory sulfide systems // Geochim. Cosmochim. Acta. 1964. Vol. 28. P. 619–640.

Griffin W. L., Sobolev N. V., Ryan C. G. et al. Trace elements in garnet and chromites: diamond formation in the Siberian lithosphere // Lithos. 1993. Vol. 29. P. 235–256.

Spencer K. J., Lindsley D. H. A solution model for coexisting iron-titanium oxides // American Mineralogist. 1981. Vol. 66. P. 1189–1201.

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

Vuollo J., Piirinen T. Mineralogical evidence for an ophiolite from the Outokumpu serpentinites in North Karelia, Finland // Bul. Geol. Soc. Finland. 1989. 61, part. 1. P. 95–112.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Иващенко Василий Иванович

ведущий научный сотрудник, канд. геол.-минер. наук
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: ivashche@krc.karelia.ru

Ромашкин Александр Евгеньевич

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

Romashkin, Alexandr

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