

УДК 549.3 (470.22)

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ И СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В МАЛОСУЛЬФИДНЫХ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ ПАНА-КУОЛАЯРВИНСКОЙ СТРУКТУРЫ

А. В. Чернявский, А. В. Волошин, Ю. Л. Войтеховский

Геологический институт Кольского научного центра РАН

В статье рассматриваются рудопроявления и месторождения Au Северной Карелии (Кайралы, Майское) и Финляндии (группа Юомасуо). Отмечены отличия и сходства по геологической позиции, проявлению рудных минеральных фаз и возрасту вмещающих вулканогенно-осадочных комплексов. Установлены минералы-концентраторы Au поля Кайралы, которые представлены золотом и теллуридами – калаверит и монтбрейит в отдельных зернах или сростках с мелонитом. Показана различная специализация рудных минералов: поле Кайралы – золото-теллуридная с присутствием теллуридов Ni; Майское – золото-теллуридно-селенидная с наличием сульфидов меди и минералов урана; группа Юомасуо – золото-теллуридно-селенидная с присутствием теллуридов Ni и минералов урана. ЭПР-спектроскопия кварца из поля Кайралы предполагает его перспективность на золото-рудность.

Ключевые слова: минералогия, золото, серебро, теллуриды, Северная Карелия (Россия).

**A. V. Chernyavskiy, A. V. Voloshin, Yu. L. Voytekhevskiy. NOBLE METAL
AND SULPHIDE MINERALIZATION IN LOW SULPHIDATION EPITHERMAL
ORE OCCURRENCES OF THE PANA-KUOLAJÄRVI STRUCTURE**

We consider Au ore occurrences and deposits in northern Karelia (Kajrally, Mayskoye) and Finland (Yomasuo group). Similarities and distinctions as regards the geological position, manifestation of the ore mineral phases and the age of the host igneous/sedimentary associations were identified. We identified the concentrated Au ore minerals of the Kajrally field, represented by gold and tellurides – calaverite and montbrayite, which occur as isolated grains or intergrowths with melonite. The different specializations of ore minerals are demonstrated: Kajrally field – gold-telluride with Ni tellurides; Mayskoye – gold-telluride-selenide with copper sulphides and uranium minerals; Yomasuo group – gold-telluride-selenide with Ni tellurides and uranium minerals. Judging by the EPR spectroscopy of quartz from the Kajrally field, it is potentially gold bearing.

Key words: mineralogy, gold, silver, tellurides, northern Karelia (Russia).

Пана-Куолаярвинская структура расположена на сопредельных территориях Мурманской области, Карелии и Финляндии и в гео-

графическом делении относится к Северной Карелии. Эта структура характеризуется особой геотектонической позицией и составом

слагающих пород [Безруков, 1989; Сафонов и др., 2003; Вольфсон и др., 2005 и др.] и представляет перспективный регион на обнаружение золоторудных объектов. Большую роль в этом сыграло открытие месторождения Майского, которое впоследствии изучалось геологами Кольской геологоразведочной экспедиции (А. Д. Дайн, В. И. Безруков и др.), специалистами ИГЕМ РАН и ЦНИГРИ, Геологического института Кольского НЦ РАН и других организаций.

За последние четверть века на сопредельных территориях Финляндии и России (Карелия) выявлен ряд рудопроявлений и месторождений золота в метасоматитах и кварцевых жилах ниже- и верхнепротеройского возраста. В Пана-Куолаярвинской структуре на территории Мурманской области выявлены малосульфидные кварцевожильные проявления золота. Как показано ниже, по геологической позиции и проявлению рудных минеральных фаз они отличаются от таковых на сопредельной территории Финляндии и Майского месторождения в Северной Карелии. Объектами наших минералогических исследований были кварцевые жильные проявления с сульфидной минерализацией в поле Кайралы в направлении к району Майского месторождения (рис. 1).

Рудное поле Кайралы расположено в 70 км к ССЗ от месторождения Майского в сходной геотектонической позиции [Пожиленко и др., 2002]. Рудопроявление представлено сетью кулисообразных жил, простирающихся в северном и северо-западном направлениях. Их мощность колеблется от первых десятков сантиметров до 5 м. Вмещающие породы представлены метабазами и туфогенно-осадочными породами, интродуцированными дайками ультраосновных пород. Нередко в них отмечается бедная сульфидная минерализация, представленная пиритом и пирротинном. Кварцевые жилы имеют брекчированные контакты с вмещающими породами. Гнездовая и прожилковая минерализация в зальбандах жил приурочена к зонам брекчирования вмещающих пород и кварца. Жилы имеют сложную морфологию, повышенную трещиноватость, насыщены ксенолитами вмещающих пород. Направление рассланцевания в целом совпадает с простираванием и падением кварцевых жил. Показателями их сложной тектонической истории являются два типа ксенолитов вмещающих пород – массивные глыбовые и измененные рассланцованные. Брекчированная текстура характерна для зальбандов жил, где также отмечается крупная гнездовая и прожилково-вкрапленная минерализация.

Главный минерал в рудопроявлении Кайралы – кварц, сквозной для всех проявлений региона. Для более обоснованного суждения о сходстве объектов методом ЭПР изучен жильный кварц [Войтеховский и др., 2010]. Пробы взяты на проявлении Кайралы, месторождении Майском и участке Курсуярви к ЮЮВ от Кайралы. Спектры ЭПР регистрировались на радиоспектрометре SE/X-2547 (RadioPAN, Польша) от порошковых препаратов при температуре 290 °K при определении Ge- и E-центров (мощность СВЧ 35 и 0,2 мВт, $V_m = 0,1$ мТ, масса образца 200 мг) и температуре 77 °K при определении Al- и Ti-центров (мощность СВЧ 7 мВт, $V_m = 0,1$ мТ, масса образца 100 мг). Для нормирования интенсивности спектров использована линия ЭПР Mn^{2+} от референтного образца MgO на стенке резонатора. В качестве мер концентрации взят набор отраслевых эталонов (ВИМС) и стандартный образец ДФПГ. Погрешности оценки абсолютной и относительной концентраций центров 25–30 и 10–15 %.

Изученные золоторудные кварцы близки по составу и низким концентрациям парамагнитных центров, но отличимы по структурному состоянию Al-центров:

- концентрации Al-центров в кварце Кайралы несколько выше, чем в кварце Майского;
- кварц Кайралы характеризуется пониженным вкладом щелочных разновидностей Al-дефектов. Этот типизирующий признак более значим, чем концентрация Al-центров;
- подтверждена «золоторудность» кварца Кайралы – обогащенность такого кварца аналогичными примесными дефектами ранее отмечалась многими авторами;
- по результатам ЭПР-спектроскопии изученный кварц, особенно Майского, относится к особо чистым; он является ценным сырьем для производства оптического стекла и солнечного кремния.

В табл. 1 дан список рудных минералов проявления Кайралы [Войтеховский и др., 2009, 2010; Нерадовский, 2010; Чернявский и др., 2010], Майского месторождения [Гавриленко, 1987; Гавриленко, Реженева, 1987; Gavrilenko et al., 1999; Сафонов и др., 2003] и Юомасйо [Fennoscandian Ore Deposit Database (FODD), 2011].

В проявлении Кайралы рудные минералы представлены пиритом, пирротинном, халькопиритом, сфалеритом – в сростках и изолированно. Обычно их вкрапления располагаются в межзерновых пространствах кварцевых агрегатов или в виде тонких прерывистых прожилков пересекают агрегаты кварца.

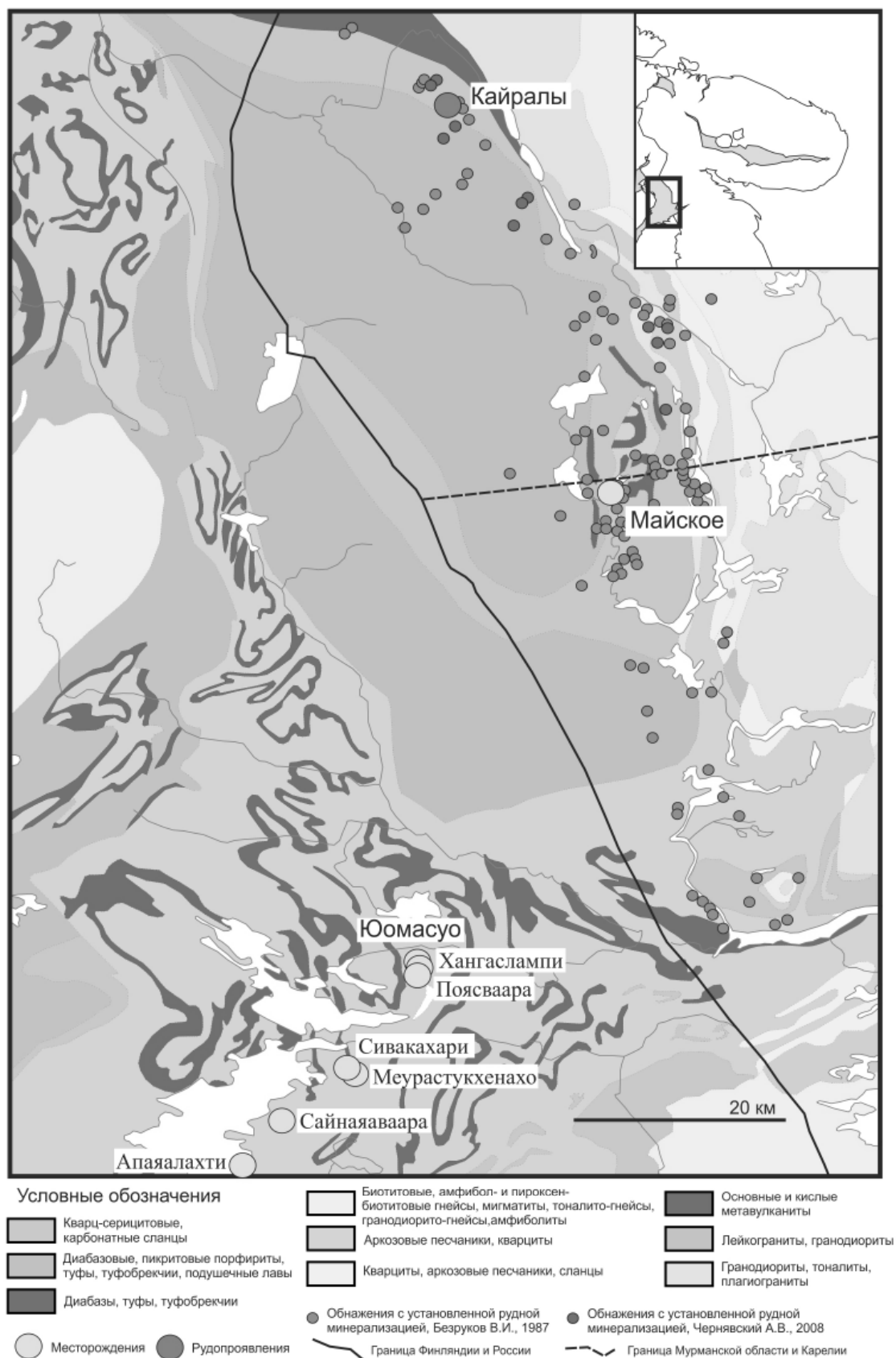


Рис. 1. Карта золоторудных проявлений Пана-Куоляярвинской структуры. Построена на основе карты металлических минеральных месторождений Фенноскандинавского щита [Fennoscandian Ore Deposit Database (FODD), 2011] с дополнениями по: [Безруков, 1989] и А. В. Чернявского

Таблица 1. Рудные минералы в Au-Ag-проявлениях Северной Карелии (Кайралы и Майское) и Финляндии (Юомасуо)

Минерал	Формула	Кайралы	Майское	Юомасуо
Элементы				
Золото	Au	•	•	•
Серебро	Ag	•		
Медь	Cu		•	
Сульфиды и их аналоги				
Сульфиды сидерофильных элементов				
Пирротин	Fe_{1-x}S	•	•	•
Пентландит	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	•	•	•
Миллерит	NiS	•		
Группа галенита				
Алтаит	PbTe		•	•
Галенит	PbS	•	•	•
Клаусталит	PbSe		•	
Группа пирита				
Пирит	FeS_2	•	•	•
Кобальтин	CoAsS	•		•
Группа марказита				
Марказит	FeS_2	•		
Арсенопирит	FeAsS	•		
Фробергит	FeTe_2			•
Группа сфалерита-халькопирита				
Сфалерит	ZnS		•	
Халькопирит	CuFeS_2	•	•	•
Сульфиды меди				
Халькозин	Cu_2S		•	
Ковеллин	CuS		•	
Борнит	Cu_5FeS_4		•	
Кубанит	CuFe_2S_3		•	
Клокманит	CuSe		•	
Прочие сульфиды				
Молибденит	MoS_2	•		•
Линнеит	CoCo_2S_4			•
Теллуриды				
Калаверит	AuTe_2	•		•
Монтбрейит	Au_2Te_3	•		
Мелонит	NiTe_2	•		•
Группа тетрадимита-алексита				
Теллуровисмутит	Bi_2Te_3		•	•
Раклиджит	PbBi_2Te_4			•

Минералогические исследования рудных ассоциаций проводились в полированных препаратах (аншлифах) на микроскопе Axioplan (Carl Zeiss) с фотодокументацией. Диагностика минералов в связи с малым размером выделений и однородных участков индивидов основывалась на оценочных анализах при помощи энергодисперсионной приставки Röntec к сканирующему электронному микроскопу LEO-1450. Он также использован для получения изображений участков полированных шлифов в обратно-рассеянных электронах. Аналитические работы выполнены в лаборатории физметодов ГИ КНЦ, аналитик Е. Э. Савченко. Результаты анализов рудных минералов даны в табл. 2.

Пирротин встречается не только в зернах, но и мелких кристаллах, часто замещается агрегатами пирита и марказита. Иногда в пир-

ротине присутствуют пламеневидные образования пентландита. В некоторых обнаруженных нами точках (особенно на контакте кварцевой жилы и кварц-карбонатных пород) пирит является основным минералом с размерами до 1 см. В нем наблюдаются включения кварца, он замещается гематитом. Нередко такой пирит встречается в ассоциации с халькопиритом. Пирит по периферии выделений и трещинам замещается гематитом, редкими зернами кобальтина в кварце, а также миллеритом, мелонитом, калаверитом, монтбрейитом, серебром и золотом в краевых зонах пирита.

Минералы-концентраторы золота установлены в виде мелких зерен в краевых зонах пирита. Это золото и (реже) теллуриды – калаверит и монтбрейит в отдельных зернах и сростках с мелонитом.

В табл. 1 даны рудные минералы в проявлениях Северной Карелии и Финляндии (группа Юомасуо). Видно, что поле Кайралы имеет схожую минеральную ассоциацию с месторождениями Юомасуо, где золото представлено не только в элементном виде, но и в виде теллуридов. Отличие состоит в том, что на месторождениях Юомасуо развита селенидная минерализация, которая отмечается и на месторождении Майском. Помимо этого, на Майском широко развиты сульфиды меди, что отличает его от поля Кайралы и Юомасуо.

Золото в поле Кайралы характеризуется широким диапазоном состава, как высокопробным (100 мас. %), так и низкопробным (65,8 мас. % Au) с высоким содержанием Ag (33,6 мас. %) (рис. 2). В золоте и серебре поля Кайралы в качестве примеси отмечаются Cu (до 1,3 мас. %) и Fe (до 2,5 мас. %).

На рис. 3, а–d, f приведены формы выделений золота – сростки с мелонитом и калаверитом в пирите и гематите. Размер зерен до 4 мкм.

Калаверит (AuTe_2) отмечен в месторождении Кайралы. Представлен метасомой с золотом и мелонитом в пирите (рис. 3, d). В срезе размер зерна 2–4 мкм. Содержание Au в минерале составляет 47,15 мас. %.

Монтбрейит (Au_2Te_3) отмечен в единичных зернах на проявлении Кайралы. Встречены небольшие сростки (2–3 мкм) с мелонитом в пирите (рис. 3, e). Содержание Au в минерале составляет 52,52 мас. %.

Рудная минерализация поля Кайралы отлична от таковой месторождения Майского в нескольких аспектах. Принципиальное отличие состоит в том, что на месторождении Майском золото-сульфидная минерализация явно наложена на кварц, тогда как на участке Кайралы

они сингенетичны [Сафонов и др., 2003]. Главные рудные минералы на месторождении Майском представлены халькопиритом, пирротином, Co пентландитом, магнетитом, галенитом и сфалеритом, в сростании с которыми находятся золото и редкие алтаит, цумоит, костибит и клаусталит. Пирротин замещается агрегатом марказита и пирита. По составу золото месторождения Майского высокопробное (90,6–99,8 мас. % Au). На участке Кайралы главным рудным минералом является пирит, сингенетичный вмещающему кварцу и сопутствующей ассоциации золота, калаверита, мелонита, мил-

лерита и кобальтина. К сходным чертам обоих объектов следует отнести то, что составы рудных минеральных ассоциаций в большей (месторождение Кайралы) или меньшей (поле Майское) степени специализированы на Ni, Co и Te. По-видимому, в этом проявляется их положение в Пана-Куолярвинской структуре, насыщенной вулканическими и интрузивными породами основного и ультраосновного состава. Реконструкция условий и механизмов формирования золоторудных кварцевых жил участка Кайралы требует их более детального изучения.

Таблица 2. Химический состав рудных минералов проявления Кайралы, мас. %

Элемент	Золото		Серебро		Klv	Mnt	Мелонит		Cob	Pnt	Mil
	Диапазон (N = 18)	Средн.	Диапазон (N = 6)	Средн.			Диапазон (N = 10)	Средн.			
Au	65,83–100,00	85,35	37,58–62,27	50,23	47,15	52,52					
Ag	0,00–33,61	14,00	36,76–62,00	49,11							
Cu	0,00–1,31	0,18	0,13–0,56	0,38							
Fe	0,00–2,51	0,47	0,00–0,41	0,29			0,00–4,51	1,46	5,80	31,91	4,57
Ni							17,39–18,60	17,99	0,84	33,48	61,34
Co							0,00–1,35	0,58	29,34	1,75	
S									24,48	32,87	34,10
As									39,55		
Te					52,85	47,47	77,54–81,57	80,09			
Сумма	98,54–100,00	99,37	99,36–100,20	99,51	100,00	100,00	100,00–100,80	100,20	100,00	100,00	100,00

Примечание. Klв – калаверит ($\text{Au}_{1,1}\text{Te}_{1,9}$), Mnt – монтбрейт ($\text{Au}_{2,1}\text{Te}_{2,9}$), Cob – кобальтин ($(\text{Co}_{0,78}\text{Fe}_{0,16}\text{Ni}_{0,02})\text{As}_{0,83}\text{S}_{1,20}$), Pnt – пентландит ($(\text{Fe}_{4,42}\text{Ni}_{4,41}\text{Co}_{0,23}\text{S}_{9,07}\text{S}_{7,93})$), Mil – миллерит ($(\text{Ni}_{0,95}\text{Fe}_{0,07})\text{S}_{0,97}$), N – число анализов.

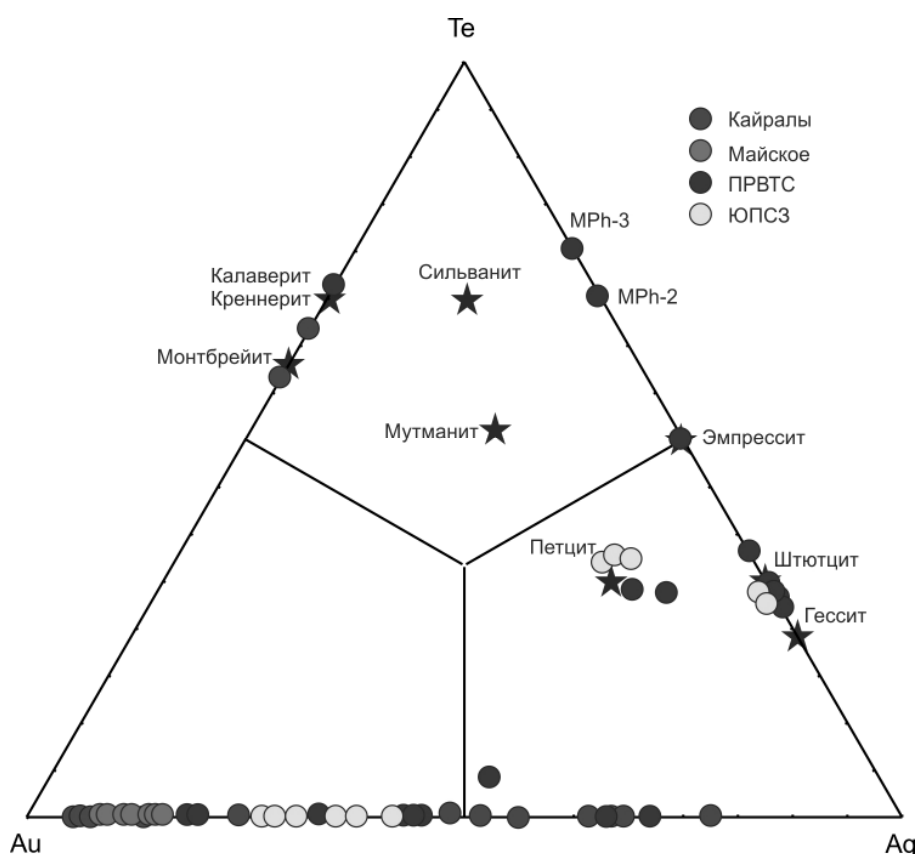


Рис. 2. Минералы системы Au-Ag-Te. Черными звездами обозначены идеальные составы известных минеральных форм в этой системе. Цветные значки – минералы, установленные в месторождениях Кольского полуострова (ПРВТС – Панаре-ченская вулcano-тектоническая структура, ЮПСЗ – Южно-Печенгская структурная зона) [Чернявский и др., 2010] и Северной Карелии

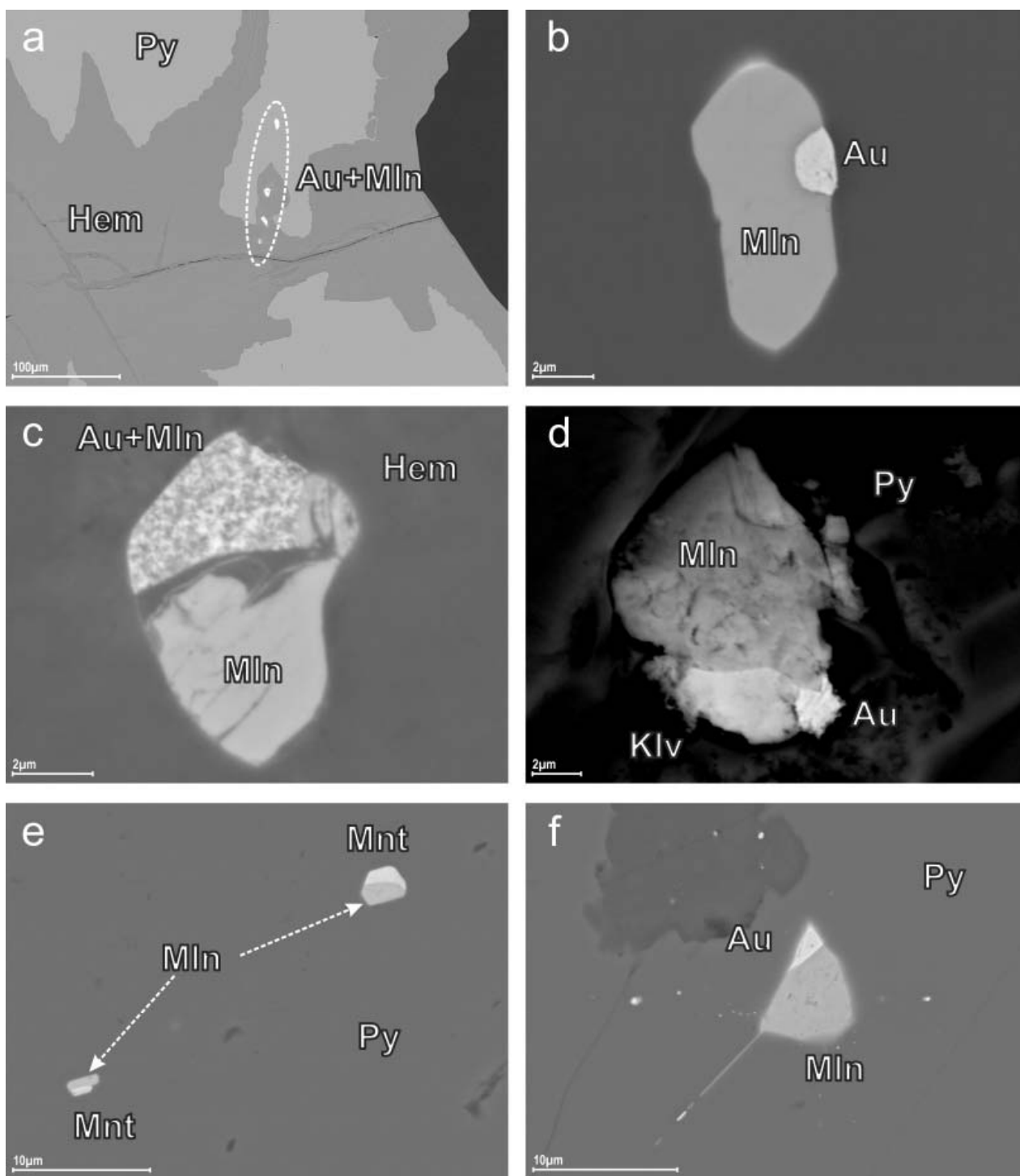


Рис. 3. Характер выделений минералов в рудопроявлениях поля Кайралы (изображения в обратно-рассеянных электронах):

а – сростки золота (Au) и мелонита (Mln) в пирите (Py) и гематите (Hem); б – сросток золота (Au) и мелонита (Mln) в пирите (Py); в – тонкая смесь золота (Au) и мелонита (Mln) и мелонит (Mln) в гематите (Hem); д – метасома золота (Au), калаверита (Klv) и мелонита (Mln) в пирите (Py); е – сростки монтебрейта (Mnt) и мелонита (Mln) в пирите (Py); ф – сросток золота (Au) с мелонитом (Mln) в пирите (Py) и тонкие включения золота (белые точки)

В заключение следует отметить, что по минералогическим критериям в проявлениях Северной Карелии и Финляндии (Юомасуо) отмечается схожесть минеральных ассоциаций поля Кайралы и месторождений Юомасуо, где золото представле-

но не только в элементном виде, но и в виде теллуридов. Но в месторождениях Майском и Юомасуо проявлена селенидная минерализация и существенную роль играют минералы урана. На месторождении Майском развиты сульфиды меди.

Золото группы Юомасуо высокопробное (95–97 мас. % Au) с небольшими примесями Se (1,6–1,8 мас. %) и Te (<0,14%). Золото месторождения Майского тоже высокопробное (90,0–99,7 мас. % Au), но с рядом других примесей Cu (0,0–0,23 мас. %), Fe (0,0–0,1 мас. %), Bi (0,0–0,3 мас. %) и Te (0,0–0,02 мас. %). Золото в поле Кайралы характеризуется более широким диапазоном состава с примесями Ag, Cu и Fe.

Вмещающими породами для этих месторождений и проявлений являются разновозрастные вулканогенно-осадочные комплексы нижнего (Юомасуо) и верхнего (Майское, Кайралы) протерозоя [Пожиленко и др., 2002; Иващенко, Голубев, 2011], а рудовмещающими – метасоматиты и серицитовые кварциты (Юомасуо) [Fennoscandian Ore Deposit Database (FODD), 2011] и кварцево-жильные поля (Майское, Кайралы).

Для Северной Карелии указанные сходства геологических условий, специализация минеральных парагенезисов на Au, Ni, Co и Te, единый тренд и компактное поле составов структурных примесей в жильном кварце позволяют ожидать здесь обширные золотоносные кварцево-жильные поля. Это согласуется с рекомендациями, высказанными В. И. Иващенко и А. И. Голубевым [2011]. Обнаружение месторождений типа Юомасуо возможно южнее месторождения Майского, на сопредельной территории Северной Карелии, в разновозрастных вулканогенно-осадочных комплексах, представленных метасоматитами и серицитовыми кварцитами.

Литература

Безруков В. И. Отчет о результатах общих поисковых работ на золото в центральной и восточной частях Куолаярвинского синклинария в 1984–1989 гг. // Фонды ЦКЭ. Апатиты, 1989.

Войтеховский Ю. Л., Лютоев В. П., Чернявский А. В. Кварц золоторудных проявлений Пана-Куолаярвинской структуры // Петрология и минерагения Кольского региона: Тр. VII Всерос. Ферсмановской науч. сессии (Апатиты, 2–5 мая 2010 г.). Апатиты, 2010. С. 22–25.

Войтеховский Ю. Л., Чернявский А. В., Басалаев А. А., Савченко Е. Э. Золото участка Кайралы // Петрология и минерагения Кольского региона: Тр. VI

Всерос. Ферсмановской науч. сессии (Апатиты, 18–19 апр. 2009 г.). Апатиты, 2009. С. 105–108.

Войтеховский Ю. Л., Чернявский А. В., Басалаев А. А., Савченко Е. Э. Золото рудопроявления Кайралы // Зап. РМО. 2010. Ч. 139, вып. 4. С. 75–79.

Вольфсон А. А., Русинов В. Л., Крылова Т. Л., Чугаев А. В. Метасоматические преобразования докембрийских метабазитов Салла-Куолаярвинского грабена в районе золоторудного поля Майское, Северная Карелия // Петрология. 2005. Т. 13, № 2. С. 179–206.

Гавриленко Б. В. Первая находка селенидов на Кольском полуострове // ДАН СССР. 1987. Т. 296, № 5. С. 1213–1215.

Гавриленко Б. В., Реженева С. А. Рудные минералы золотосодержащих кварцево-жильных зон // Минеральные парагенезисы метаморфических и метасоматических пород. Апатиты, 1987. С. 58–67.

Иващенко В. И., Голубев А. И. Золото и платина Карелии: формационно-генетические типы оруденения и перспективы. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2011. 369 с.

Нерадовский Ю. Н. Морфология и состав золота в кварце из месторождения Майское (Карелия) // Материалы Всерос. конф. Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований (Москва, 29–31 марта 2010 г.). Т. 2. М., 2010. С. 88–90.

Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В., Жабин С. В. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.

Сафонов Ю. Г., Волков А. В., Вольфсон А. А. и др. Золото-кварцевое месторождение Майское (Северная Карелия): геологические и минералого-геохимические особенности, вопросы генезиса // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45, № 5. С. 429–451.

Чернявский А. В., Войтеховский Ю. Л., Волошин А. В., Савченко Е. Э. Au-Ag-Te минералы в малосульфидных эпитермальных месторождениях Кольского п-ва и С. Карелии // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов: Тр. Всерос. науч. конф. (Апатиты, 26–29 сент. 2010 г.). Апатиты, 2010. С. 203–209.

Fennoscandian Ore Deposit Database (FODD) http://en.gtk.fi/ExplorationFinland/Commodities/Gold/gtk_gold_map.html <http://geomaps2.gtk.fi/website/fodd/viewer.htm>. 2011

Gavrilenko B. V., Petrashova L. S., Dain A. D. Proterozoic quartz-vein gold deposit Mayskoye in North Karelia (Russia) // Proc. Nordic Min. Res. Symp. Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas. Trondheim, 1999. P. 81–82.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Чернявский Алексей Викторович

старший инженер

Геологический институт Кольского научного центра РАН

ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Россия, 184209

эл. почта: chernyavsky@geoksc.apatity.ru

тел.: (81555) 79547

Chernyavskiy, Alexey

Geological Institute, Kola Research Centre, Russian Academy of Sciences

14 Fersman St., 184209 Apatity, Russia

e-mail: chernyavsky@geoksc.apatity.ru

tel.: (81555) 79547

Волошин Анатолий Васильевич

главный научный сотрудник, докт. геол.-минер. наук
Геологический институт Кольского научного центра РАН
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Россия, 184209
эл. почта: vol@geoksc.apatity.ru
тел.: (81555) 79656

Войтеховский Юрий Леонидович

директор института, докт. геол.-минер. наук
Геологический институт Кольского научного центра РАН
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Россия, 184209
эл. почта: woyt@geoksc.apatity.ru
тел.: (81555) 79656

Voloshin, Anatoly

Geological Institute, Kola Research Centre, Russian Academy
of Sciences
14 Fersman St., 184209 Apatity, Russia
e-mail: vol@geoksc.apatity.ru
tel.: (81555) 79656

Voytekhovskiy, Yury

Geological Institute, Kola Research Centre, Russian Academy
of Sciences
14 Fersman St., 184209 Apatity, Russia
e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru
tel.: (81555) 79656