

О. Б. Лавров

## ПРОДУКТИВНЫЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ В РУДОПРОЯВЛЕНИИ ПЯКЮЛЯ (СЕВЕРНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ)

Рудопроявление Пякюля (Иващенко и др., 2004), расположенное в пределах Янисъярвинского рудного узла, является редким примером совмещения двух типов оруденения: молибденового и золотометалльного (золото-сульфидного). Это обстоятельство заставляет тщательно исследовать данный объект, в том числе и в минералогическом отношении.

Если для молибден-порфирового оруденения установлены две минеральные ассоциации – молибденит-кварцевая и халькопирит-молибденит-кварцевая и довольно простой минеральный состав, то для более позднего – золотонесущего – выделяется как минимум три ассоциации и сложный набор разнообразных минералов (табл. 1).

Таблица 1

Этапы и стадии минералообразования рудопроявления Пякюля

Этапы	Стадии	Минеральные ассоциации	Главные минералы
Редкометалльный	Молибденитовая	Молибденит-кварцевая, халькопирит-молибденит-кварцевая	Молибденит, халькопирит, пирротин, сфалерит
Золоторудный	Золотосульфидная, арсенопирит-кварцевая, полисульфидная	Золото-арсенопиритовая, золото-висмутная, золото-полисульфидная	Электрум, сам. Au, Bi, теллуриды Bi, галенит, бл. руды, сульфосоли Pb
Сурьмяный	Сурьмяно-сульфидно-кварцевая	Гудмундит-кварцевая	Гудмундит, сам. Sb, пирротин, антимонит

В редкометалльный этап были образованы, как уже отмечалось, две минеральные ассоциации. Молибденитовая минерализация приурочена к дайке плагиопорфиров, где локализуется в маломощных субпараллельных кварцевых прожилках. Но в основном вмещающей молибденитовую минерализацию является интрузия плагиогранитов – тоналитов, где сформировался линейный кварцевый штокверк с молибденитом и сульфидами меди и железа. Незначительная часть кварцевых прожилков с обильным молибденитом в обоих зальбандах встречается в ближайшем экзоконтакте среди метатурбидитов ладожской серии. Нередко можно встретить в сходной позиции «сухие» молибденитовые просечки и микропрожилки.

Ареал кварцевых прожилков (штокверк) с молибденитовой минерализацией в плагиогранитах – тоналитах отчетливо пересекается более поздними зонами расланцевания с арсенопирит-кварцевой ассоциацией.

Золото-арсенопиритовая и арсенопирит-кварцевая ассоциации являются основными продуктивными образованиями в рудопроявлении. Вначале формировался, по-видимому, вкрапленный тип руд, представляющий собой скопления определенного количества метакристаллов арсенопирита в метатурбидитах ладожской серии. Данная минерализация встречается практически во всех естественных

обнажениях вокруг интрузий плагиогранит-тоналитов и габброидов. Максимальное содержание рудного минерала – первые десятки процентов – фиксируется вдоль экзоконтактных зон даек плагиопорфиров и пропицитизированных габбро. Наиболее существенная арсенопиритовая минерализация локализуется в линейных зонах расланцевания мощностью первые метры, куда, по-видимому, перераспределялось рудное вещество. Главный минерал представлен идиоморфными метакристаллами игольчатого габитуса размером до 1–2 мм по длинной оси. Характерной его особенностью является наличие в нем включений нерудных минералов, сульфидов (пирротина, халькопирита), самородного золота (фото 1), состав которого – Au 81,39; Ag 18,61%, а также минералов системы Pb-Sb-As-S, висмута и др. Главная масса субмикроскопического золота концентрируется именно в арсенопирите этой ассоциации.

Вкрапленность арсенопирита в плагиогранит-тоналитовой интрузии сопровождается кварцевыми прожилками с аналогичной минерализацией. В свою очередь, ранние кварцевые прожилки с арсенопиритом пересекаются более поздними зонами расланцевания и тонкими жильными образованиями кварца с обильным аналогичным минералом, т. е. данная стадия минералообразования формировалась в нескольких импульсах.

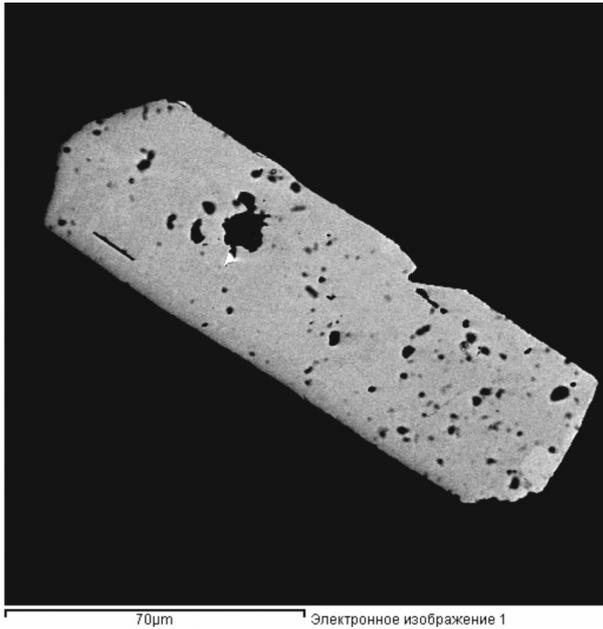


Фото 1. Включение самородного золота в метакристалле арсенопирита

Обычно центральную часть зон расланцевания выполняет кварцевый прожилок либо березитоподобный метасоматит, а во внешних частях формируются метасоматические вкрапленные арсенопиритовые руды. Мощность подобных рудных тел достигает 5–7 м. Кварц рудных прожилков имеет преимущественно серый и стально-серый цвет. Содержание в нем арсенопирита колеблется от 2–3% до первых десятков процентов, и концентрируется он большей частью в лежащем боку прожилков и зон гидротермально-метасоматической переработки в интрузивных породах. Арсенопирит образует идиоморфные ромбовидные кристаллы размером до 0,5 см по длинной оси и зернистые агрегаты, в трещинах которых локализуются более поздние по времени образования минералы. С арсенопиритом ассоциируются пирротин, халькопирит, минералы системы Pb-Sb-S, сфалерит, галенит, пирит, гипогенный марказит, золото и электрум (фото 2). Самородное золото выполняет трещины в арсенопирите, нарастает на его грани или находится в межзерновом пространстве агрегатов арсенопирита. Максимальные размеры золотин не превышают 0,1 мм в поперечнике. Состав частиц золота изучался с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH с микроанализатором INCA Energy 350. Результаты оказались следующими: Au – от 79,48 до 75,0%; Ag соответственно – от 20,5 до 24,93%. Электрум содержит: Au – 61,6; Ag – 38,3%.

Золото-висмутовая минеральная ассоциация локализуется в маломощных (2–3 см) арсенопирит-кварцевых прожилках северо-восточного простирания, которыми насыщена дайка плагиопорфиров, секущая толщу метатурбидитов на северо-западном фланге участка работ. Минералы данной ассоциа-

ции отличаются субмикроскопическими особенностями. Среди висмутовых минералов наиболее распространенными оказались хедлейит и самородный висмут, отмечающиеся как изолированно друг от друга, так и в совместных сростаниях, редко встречался жозеит В. Самородное золото (Au – 76,3; Ag – 23,6%) наблюдалось в сложных сростаниях с самородным висмутом, образующих причудливой формы выделения в жильном кварце. Арсенопирит в прожилках оказался наиболее «мышьяковистым» по сравнению с аналогами из других минеральных ассоциаций и сходен по составу с краевыми частями арсенопиритов золото-полисульфидной минеральной ассоциации (табл. 2).

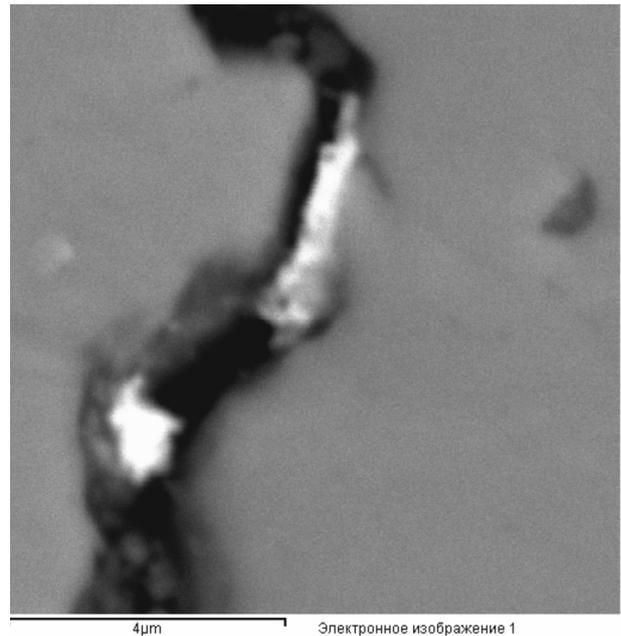


Фото 2. Электрум (белое) в трещине между зернами арсенопирита

Таблица 2

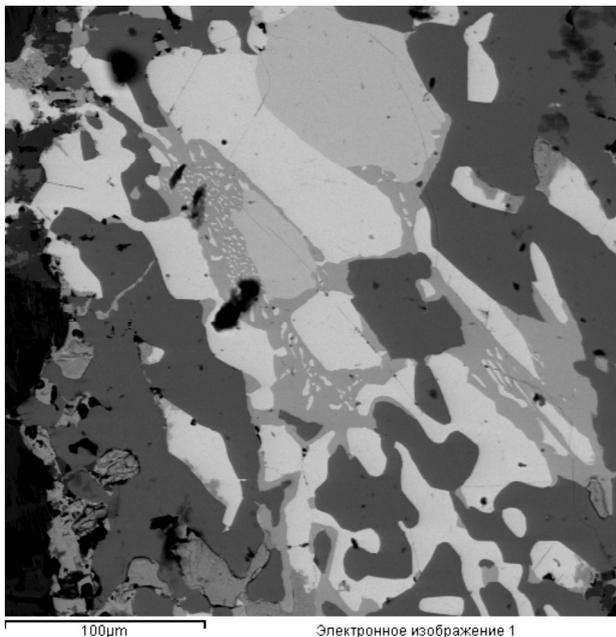
Состав арсенопиритов рудопоявления Пякюля

№ обр.	Fe As S			S/As	Σ	Примечание
	ат. %					
9933/2	30,45	33,68	35,87	1,06	100,00	Au-Bi-я ассоциация
3197ж	31,51	29,50	38,99	1,32	100,00	Au-FeAsS (жильная) ассоциация
1220	31,12	28,86	40,02	1,38	100,00	Au-полисульфидная ассоциация
1220	31,19	33,34	35,46	1,06	99,99	Au-полисульфидная ассоциация
0305a	32,31	30,06	37,63	1,25	100,00	Au-FeAsS в метатурбидитах

Примечание. В образце 1220 измерения проводились в центральной и краевой частях кристалла.

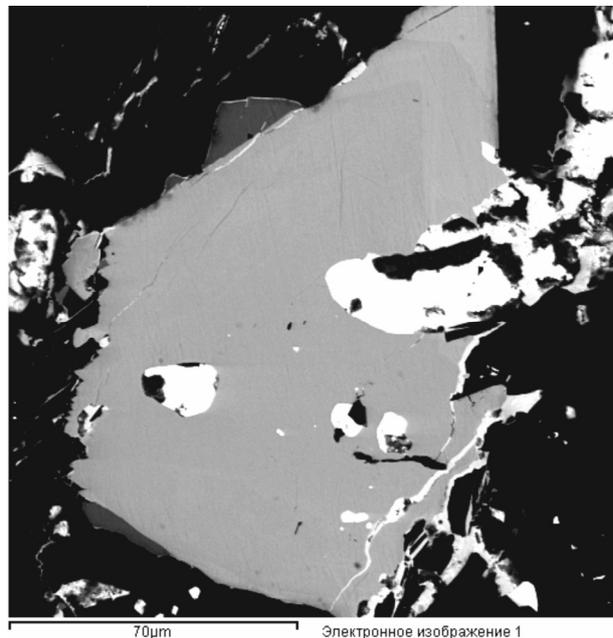
Золото-полисульфидная продуктивная минеральная ассоциация сосредоточена в основном в маломощных кварцевых прожилках северо-западного простирания, которые внедрялись в подновленные трещины фланговых зон предшествующей редкометальной минерализации. Один из главных минералов данной ассоциации – галенит, представленный отдельными зернами размером 1–2 мм в поперечнике и содержащий червеобразные включения блеклой руды – тетраэдрита. Надо сказать, что состав

блеклых руд в данной минеральной ассоциации варьирует от указанного тетраэдрита с содержанием Ag – 4,7% до аргентотетраэдрита (Ag – 31%). Сфалерит часто имеет двойниковое строение зерен и содержит тетраэдрит-галенитовые включения и редкую эмульсионную сыпь халькопирита. Халькопирит второй генерации отмечается по соседству с бурнонитом. Пирротин содержит включения гудмундита (280 °С). Вторая генерация гудмундита тесно ассоциируется с золотом (Au – 74,1; Ag – 25,8%). Самородное золото также наблюдается в сростках со сфалеритом (Au – 72,8; Ag – 27,1%), в этой же позиции встречается электрум (Au – 54,56; Ag – 45,4%). Последний фиксируется и в сростании с пирротинном, где имеет следующий состав: Au – 51,4; Ag – 48,5%. Следует отметить, что изолированные частицы золота, заключенные в кварце, являются более высокопробными (до 910) по сравнению с золотинами, которые ассоциируются с сульфидами. Среди других рудных минералов необходимо упомянуть арсенопирит, имеющий зональное строение, краевые части которого более «мышьяковистые», чем центральные (табл. 2), сурьмяные сульфосоли свинца, в том числе и с Cu, среди которых – фалькманит, семсейит, менегинит и др. Некоторые рудные минералы данной ассоциации, такие как галенит и блеклая руда, порой сочетаются друг с другом в сложных графических сростаниях, которые можно рассматривать как структуры распада твердого раствора. Также характерны реакционные каймы бурнонита (мирмекитовое сростание с галенитом) на границе фалькманита, галенита и тетраэдрита (фото 3).



**Фото 3.** Реакционные каймы бурнонита (серое) в мирмекитовом сростании с галенитом на границе фалькманита (серое, светлее бурнонита), галенита (белое) и тетраэдрита (темно-серое, преобладает)

Слабопродуктивная полисульфидная минерализация в ряде случаев приурочена к тем же самым северо-восточным зонам расланцевания, что и кварц-арсенопиритовый парагенезис, где развита в субпараллельных маломощных рудных зонах, либо тяготеет к фланговым участкам зон с кварц-арсенопиритовой минерализацией. Среди сульфосолей здесь часто встречаются в совместных выделениях фалькманит и семсейит, среди других минералов – фрейбергит и галенит, иногда вместо блеклой руды среди сурьмяных сульфосолей свинца присутствует бурнонит. Семсейит содержит включения джемсонита. Содержание серебра в блеклых рудах колеблется от 20,1 до 27,9%. Наименее серебристые разновидности отличается также примесь цинка. В ряде случаев в кристаллах фрейбергита тетраэдрического облика наблюдается зональность (фото 4), выражающаяся в обогащении периферических зон серебром (до 31%). Ближе к центральной части содержание серебра уменьшается до 21–22%, но увеличиваются содержания меди и сурьмы.



**Фото 4.** Зональное зерно фрейбергита (серое) с галенитом (белое)

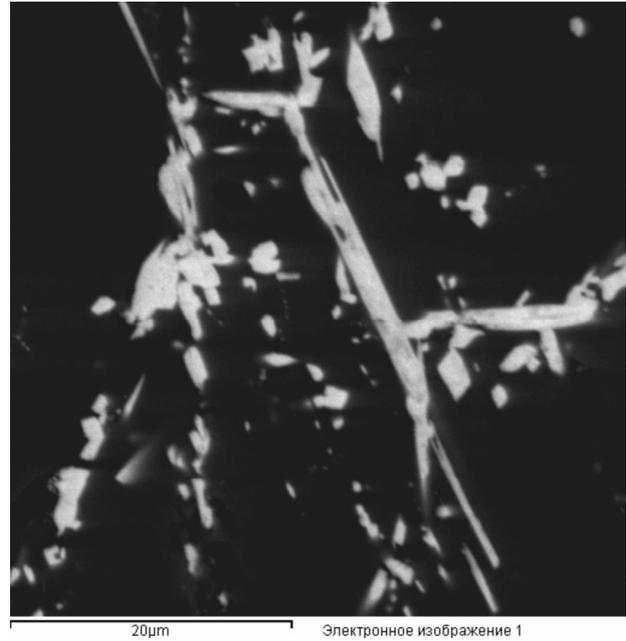
Необходимо отметить, что в результате изучения состава арсенопирита продуктивных и слабопродуктивных ассоциаций выявились определенные особенности этого минерала: в основном высокие величины серномышьякового отношения 1,25–1,38 (табл. 2) и явное преобладание серы над мышьяком.

На заключительном этапе рудообразования следует выделить гудмундит-кварцевую минеральную ассоциацию, которая проявлена в зоне расланцевания северо-восточного простирания, наложенной на эруптивную брекчию на северо-восточном эндо-, экзоконтакте плагиогранит-тоналитовой интрузии. Зона выполнена несколькими генерациями кварца

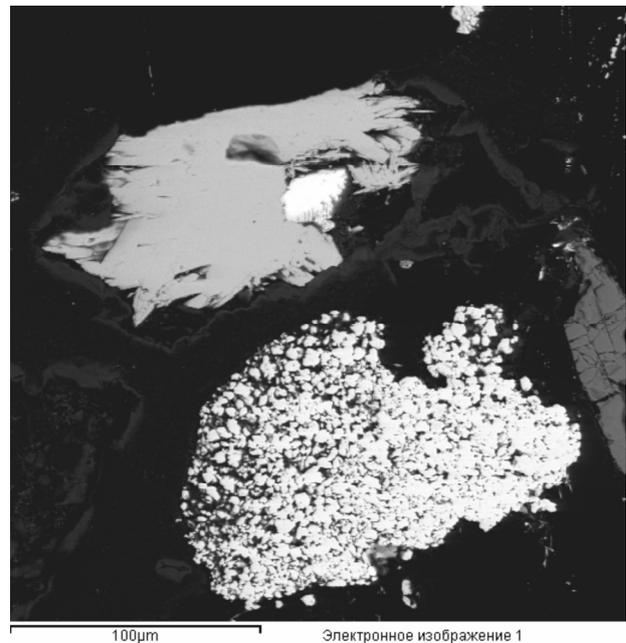
голубовато-серого и светло-серого цвета, выполняющими субпараллельные трещины. Основная масса светло-серого, почти белого кварца не несет признаков какой-либо рудной минерализации. Также кварц с целой гаммой рудных минералов пропитывает пространство между обломками метатурбидитов, образуя сложнопостроенную, но маломощную жильную зону. Среди сульфоантимонитов здесь доминирует гудмундит, представленный, по-видимому, несколькими генерациями – сростками ромбопризматических кристаллов длиной до 1 мм и радиально-лучистыми сростками – 0,1 мм в поперечнике. Он отмечается в сростаниях с пирротинном, иногда оба минерала образуют мирмекиты, и с самородной сурьмой. Гудмундит содержит иногда включения (реликты?) джемсонита, а также других сульфосолей. Другим обнаруженным сульфоантимонитом оказался ульманнит, присутствующий в виде мелких включений в пирротине. Изолированные зерна ульманнита в жильном кварце – более сурьмянистые. Самородная сурьма встречается в виде микрозернистых агрегатов с округлыми очертаниями зерен, как бы сростшихся воедино, или аллотриоморфных выделений, сратающихся с гудмундитом и пирротинном. Отдельные зерна имеют причудливый, амебообразный вид. Их размер не превышает 1 мм в поперечнике. Некоторые выделения этого минерала содержат включения селен- (1,2%) и сурьму содержащего галенита. Сурьмяные сульфосоли свинца широко распространены среди минералов данной ассоциации. Уже упоминавшийся джемсонит образует массу разноориентированных, игольчатого габитуса кристаллов (фото 5) в жильном кварце. Иногда он наблюдается в сростании с блеклой рудой. Изометричное зерно другой сульфосоли – гетероморфита – встречено среди войлокоподобного скопления антимонита (фото 6). В самостоятельных выделениях он содержит включения цинкениита, селен- и сурьму содержащего галенита. Антимонит отличается разнообразием форм нахождения в данной сложной ассоциации рудных минералов. Это и уже отмечавшиеся войлокоподобные массы размером до 1 мм в поперечнике, и сложносдвоенные зерна, призматические кристаллы и мономинеральные прожилки, залечивающие поздние трещины в светло-сером кварце. По-видимому, антимонит представлен здесь несколькими генерациями, поздние из которых отчетливо замещают пирротин (фото 7), а также локализуются в микротрещинах. Из других обычных сульфидов встречаются халькопирит, марказит, сфалерит и крайне редкий арсенопирит.

В общем виде в рудопроявлении устанавливается регрессивная последовательность сурьмяных парагенезисов (Бергер, 1978): сульфоантимониты свинца, тетраэдрит и другие блеклые руды, составляющие ранний сурьмяный парагенезис → гудмундит, самородная сурьма → антимонит, составляющие поздний сурьмяный парагенезис. Присутствие в позднем парагенезисе субмикроскопических зерен галенита, богатых свинцом сульфоантимонитов и самородного

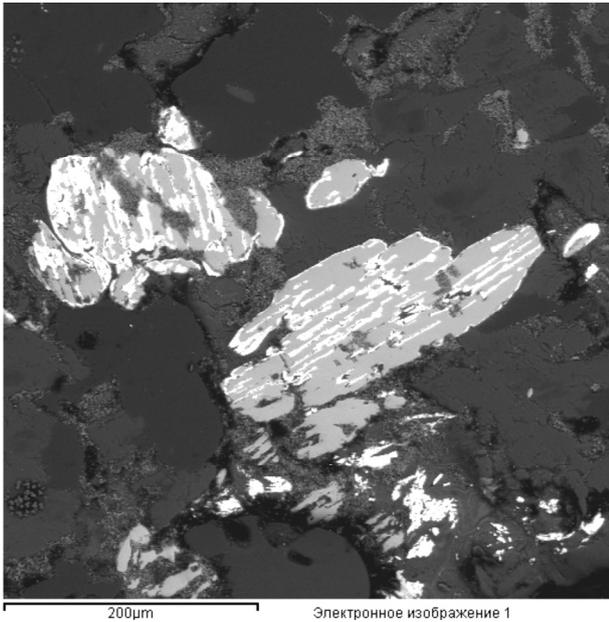
свинца может являться следствием незначительного гидротермального метасоматоза с привнесом свинца на заключительных этапах рудообразования. К сожалению, вкрапленный и чрезвычайно микрозернистый характер свинцовой минерализации, а также отсутствие на данном этапе исследований признаков наложения или замещения минералов сурьмяно-сульфидной стадии самым поздним парагенезисом не позволяют однозначно определить эволюцию рудной минерализации в рудопроявлении.



**Фото 5.** Игольчатые микрокристаллы джемсонита в кварце



**Фото 6.** Войлокоподобный антимонит (серое) с изометричным зерном гетероморфита (белое). Внизу – самородная сурьма (ярко-белое)



**Фото 7. Замещение пирротина (серое) антимонитом**

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что процесс минералообразования проходил на фоне постепенного снижения температур и поступления в раствор новых элементов, понижения активности серы и повышения – сурьмы. Отложенные минералы подвергались воздействию более поздних растворов и претерпевали превращения. От ранних минеральных ассоциаций к поздним прослеживается последовательный ряд сурьмяных сульфосолей – фалькманит – гетероморфит – плагионит? – вплоть до неизвестных высокосурьмянистых фаз, который на заключительном этапе минералообразования нарушается привнесом свинца. Самородное золото выделялось в 3–4 парагенезисах совместно с кварцем, висмутом, некоторыми сульфидами и сульфосолями. Намечается некоторая тенденция к повышению пробыности золота от ранних ассоциаций к поздним (до 910). Его состав не оставался постоянным в конкретных минеральных ассоциациях и изменялся скачкообразно. Природа этого явления требует дополнительного изучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Бергер В. И.* Сурьмяные месторождения. Л., 1978. 296 с.  
*Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б. и др.* Эндеогенная золоторудная система Суйстамского плуто-

нического комплекса (Северное Приладожье) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 2004. С. 127–146.