

УДК 553.411 + 553.314 + 553.1 (470.22)

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И ГЕНЕЗИС ЗОЛОТО-ЛИМОНИТОВОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ЮЖКА (ЭЛЬМУССКАЯ ПЛОЩАДЬ, КАРЕЛИЯ)

Л. В. Кулешевич¹, И. Л. Олейник²

¹ Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² ООО «Индустрия», Петрозаводск, Россия

Впервые в зоне окисления архейских зеленокаменных пород в Центральной Карелии (Эльмусская площадь), в зоне брекчирования и окисления линейного типа обнаружено золото-лимонитовое проявление Южка. Зона окисления образовалась по раздробленным кварц-серицит-хлоритовым сланцам, содержащим горизонт колчеданных руд и раздробленные кварцевые жилы. Изучение минеральной смеси лимонитов проведено с применением рамановского, термического, рентгеновского, химического, ICP-MS и микрозондового анализов. Верхняя часть зоны окисления представлена преимущественно рыхлыми желто-коричневыми охрами, натечными почками, железная шляпа – плотными образованиями. Установлено, что оксиды и гидроксиды железа верхней рыхлой части лимонитовой зоны представлены гетитом (гидрогетитом) и гематитом. Колчеданные руды халькопирит-пиритового состава выявлены в нижних горизонтах, они дробятся и замещаются гематитом или гематитом и гетитом. Раздробленные кварцевые жилы в окисленной и ожелезненной сланцевой толще образуют брекчию с угловатыми разноразмерными обломками, которые содержат редкие включения сульфидов (пирит, халькопирит, галенит), сульфосолей и сульфоарсенидов и цементируются гетитом и гематитом. Сохранившиеся неокисленные сульфосоли и сульфоарсениды в рудах и раздробленных жилах представлены семсейитом, тетраэдритом, джемсонитом, плагионитом, кобальтином, герсдорфитом, встречается мелонит. Золото тонкодисперсное, высокопробное (Ag 1–10 %), установлено в сростании с гетитом вблизи горизонта окисленных колчеданных руд; его содержание – 1–2,6 г/т. Геохимия лимонитовой зоны (As, Sb, Pb, Ni, Cu, Co) отражает состав первичных колчеданных руд и кварцевожилных ассоциаций Эльмусской площади, что позволяет предполагать, что источником золота были именно эти окисленные образования.

Ключевые слова: золото; гетит; гематит; зона окисления; колчеданы; рамановский, рентгеновский, микрозондовый анализы; проявление Южка; Карелия.

L. V. Kuleshevich, I. L. Oleinik. ORE MINERALIZATION AND GENESIS OF THE YUZHKA GOLD-LIMONITE OCCURRENCE, ELMUS AREA, KARELIA

Yuzhka gold-limonite occurrence is the first one to have been found in the linear-type brecciation and oxidation zone in the Archean greenstone rock oxidation zone, Elmus area, Central Karelia. The oxidation zone formed along the broken quartz-sericite-chlorite schist, which contains a pyrite ore horizon and broken quartz veins. The mineral limonite mixture was studied using Raman, thermal, X-ray, chemical, ICP-MS and microprobe analyses. The upper portion of the oxidation zone consists primarily of unconsolidated

yellow-brown ochre, sintered packages and gossan (consolidated rocks). Iron oxides and hydroxides in the upper unconsolidated portion of the limonite zone were found to consist of goethite (hydrogoethite) and hematite. Pyrite ores of chalcopyrite-pyrite composition occur in lower horizons; they are broken and replaced by either hematite or both hematite and goethite. Broken quartz veins in the oxidized and ferruginized schist sequence form breccia with angular fragments of varied size, which contain scarce sulphide (pyrite, chalcopyrite, galena), sulphosalt and sulphoarsenide inclusions and are cemented by goethite and hematite. Persisting non-oxidized sulphosalts and sulphoarsenides in the ores and broken veins are composed of semseyite, tetrahedrite, jamsonite, plagiogonite, cobaltite and gersdorffite; melonite is occasionally encountered. The gold is fine-textured and high-grade (Ag 1–10 %). It is intergrown with goethite near the oxidized pyrite ore horizon; its concentration is 1–2.6 g/t. The geochemistry of the limonite zone (As, Sb, Pb, Ni, Cu, Co) reflects the composition of primary pyrite ores and quartz vein associations in the Elmus area, suggesting that these oxidized rocks were the source of the gold.

Key words: gold; goethite; hematite; oxidation zone; pyrite ores; Raman; X-ray; microprobe analyses; Yuzhka occurrence; Karelia.

Введение

Золото-лимонитовое проявление Южка было обнаружено в Центральной Карелии на Эльмусской площади благодаря поисковым работам, проводимым ООО «Индустрия» [Булавин и др., 2013]. Оно расположено южнее небольшой палеопротерозойской Педролампинской структуры (рис. 1) и приурочено к архейским зеленокаменным толщам бергаульской свиты лопийского надгоризонта (AR₂Ip), представленным сланцами и колчеданными рудами, подвергшимся интенсивному окислению. Глубоко проникающая линейная кора выветривания и зона окисления приурочены к разлому северо-восточного простирания южнее озера Педролампя. В зоне разлома происходит дробление и окисление всех типов пород и колчеданных руд с образованием пористых, кавернозных лимонитов, рыхлых желтовато-коричневых охр и плотных натечных образований железной шляпы, в которых и было обнаружено золото. Установлено неоднократное замещение обломков оксидами и гидроксидами железа.

Целью данной работы было изучение минералогии рудопроявления Южка, установление его генезиса и источника золота. В задачи входили характеристика зоны брекчирования и окисления, идентификация породных и рудных ассоциаций, по которым образовалась лимонитовая зона, определение первичных и окисленных рудных минералов, диагностика оксидов и гидроксидов железа с использованием различных методов, а также установление концентрации, состава золота и его возможных источников в зоне окисления.

Материалы и методы

Изучение зоны окисления проводилось по образцам, отобраным из буровых скважин, пробуренных ООО «Индустрия» по нескольким геологическим профилям, вскрывшим лимонитовую зону до глубины 200–350 м. Состав вмещающих пород, колчеданных и лимонитовых руд определялся рентгенофлуоресцентным и ICP-MS методами. Изучение минеральных ассоциаций колчеданных и окисленных руд осуществлялось с использованием электронного сканирующего микроскопа VEGA II LSH с микроанализатором INCA Energy-350. Диагностика минералов лимонитовой зоны (минеральной смеси оксидов и гидроксидов железа с примесью кварца) проводилась с помощью рентгеновского, термического анализов и рамановской спектроскопии в Аналитическом центре Института геологии КарНЦ РАН (аналитики С. В. Бурдюх, И. С. Инина, В. А. Колодей, Е. В. Коробкина, А. С. Парамонов, А. Н. Терновой).

Дифференциальный термический анализ рыхлых тонкодисперсных лимонитовых охр был проведен на дериватографе Q-1500D (Венгрия) в интервале T = 20–534 °C. Он позволил установить эндотермический эффект на кривой ДТА и по графику ТГ (термогравиграммы) рассчитать количество удаленной при нагревании воды. Данные рентгеновского анализа были получены на автоматическом дифрактометре ARL X'TRA (излучение Cu K α , напряжение 35 kv, ток 35 ma). Дифрактограмма снята с шагом 0,02° в области 2 θ – 5–75°, время набора импульса – 2 секунды. Фазовый анализ семи образцов (из скважин 628, 229, 635) подтвердил наличие в минеральных смесях от одной до трех фаз.

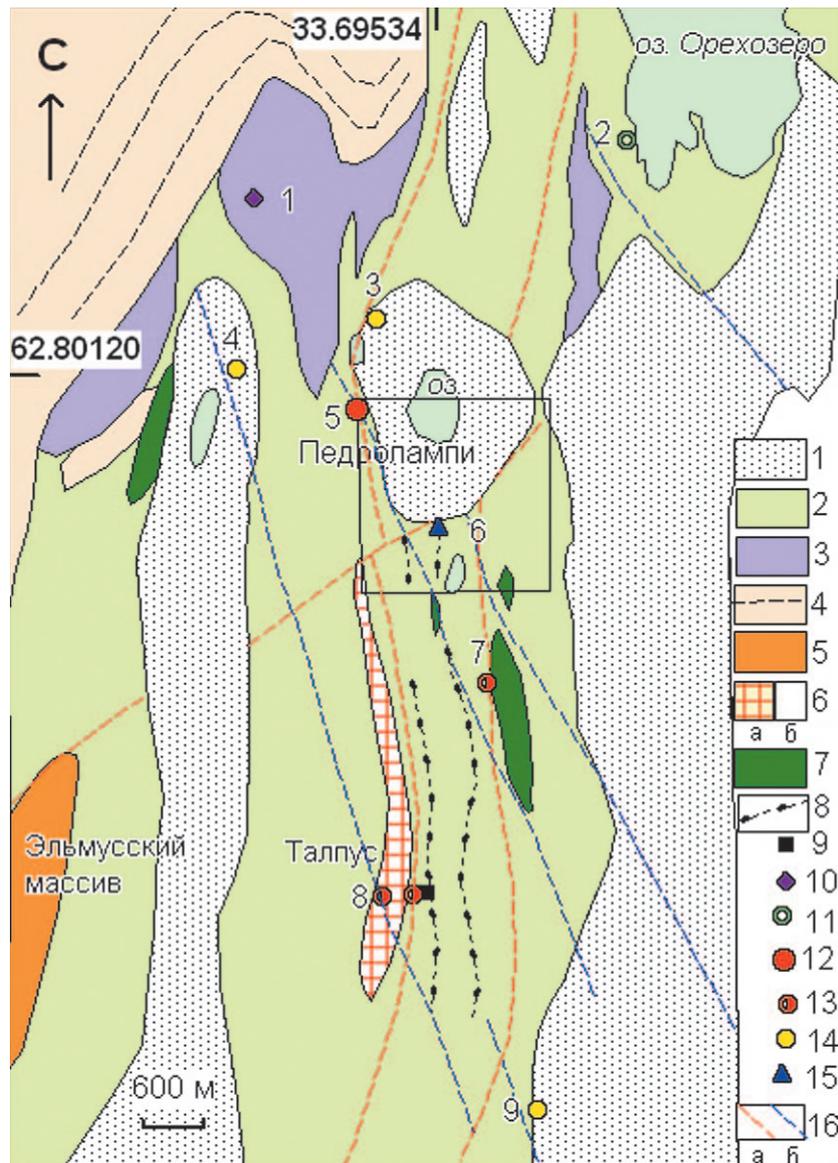


Рис. 1. Схема геологического строения Эльмусской площади и положение участка Южка по: [Кулешевич, Лавров, 2007]; основа по Ю. Н. Новикову с дополнениями авторов:

1 – вулканогенно-осадочные комплексы (PR₁, ятулийский и сумийско-сариолийский надгоризонты); 2 – metabasalts of the Semcherechenskaya suite and volcano-sedimentary rocks of the Bergaul's suite (AR₂, Lopian superhorizon); 3 – metakomatiites, partly peridotites (AR₂); 4 – гранитизированные осадочные толщи, гранито-гнейсы (AR₂); 5 – differentiated pyroxenite-monzonite-syenite Elmus massif (2.74 Ga); 6 – plagiogranite-porphyry (a) of the Talpus massif (2.85 Ga), granodiorites (б) of the Orekhozersky massif; 7 – gabbro (AR₂); 8 – pyrite sequence. Ore occurrences (9–11, 13–15) and a deposit (12): 9 – pyrite ores; 10 – Cu-Ni-S; 11 – pyrite-base metal; 12 – gold-sulphide; 13 – gold-sulfoarsenide; 14 – Au-Cu-Th in quartz conglomerates; 15 – Au-Fe-O. 16 – tectonic zones (a – AR₂, б – PR₁).

Номера на схеме: 1 – Педроручей, 2 – 3.-Орехозерское, 3 – Кюняшельга, 4 – Черное, 5 – Педролампи, 6 – Южка, 7 – Гавшламная, 8 – Талпус («колчеданный», «гранитный», «арсенопиритовый»), 9 – Заозерное. Квадратом выделен участок, представленный на рис. 2

Fig. 1. Scheme showing the geological structure of the Elmus area and the position of the Yuzhka prospect:

1 – volcano-sedimentary complexes (PR₁, Jatulian and Sumian-Sariolian superhorizons); 2 – metabasalts of the Semcherechenskaya suite and volcano-sedimentary rocks of the Bergaul's suite (AR₂, Lopian superhorizon); 3 – metakomatiites, partly peridotites (AR₂); 4 – granitized sedimentary sequences, granite gneisses; 5 – differentiated pyroxenite-monzonite-syenite Elmus massif (2.74 Ga); 6 – plagiogranite-porphyry (a) of the Talpus massif (2.85 Ga), granodiorites (б) of the Orekhozersky massif; 7 – gabbro (AR₂); 8 – pyrite sequence. Ore occurrences (9–11, 13–15) and a deposit (12): 9 – pyrite ores; 10 – Cu-Ni-S; 11 – pyrite-base metal; 12 – gold-sulphide; 13 – gold-sulfoarsenide; 14 – Au-Cu-Th in quartz conglomerates; 15 – Au-Fe-O. 16 – tectonic zones (a – AR₂, б – PR₁).

Numbers on the scheme: 1 – Pedroruchei, 2 – West Orekhozerskoye, 3 – Kyunyashelga, 4 – Chernoye, 5 – Pedrolampi, 6 – Yuzhka, 7 – Gavshlamnoya, 8 – Talpus (pyrite occurrences in granites and arsenopyrite occurrences in a shear-zone), 9 – Zaozernoye.

A square indicates the prospect shown in Fig. 2

Рамановская спектроскопия выполнялась с использованием спектрометра комбинационного рассеяния Almega XR Nicolet ThermoScientific с микроскопом Olympus BX41. Рамановский эффект при этом наблюдается в рассеянном от образца свете, он нечувствителен к поляризации поглощения. Рамановская спектроскопия не требовала специальной подготовки препарата, что было особенно важно для тонкодисперсных лимонитовых минеральных смесей. Непосредственное измерение спектра проводилось как в порошкообразных, так и в плотных корковых или натечных образцах, представляющих сростание гематита, гетита, кварца, иногда содержащих хлорит, серицит, акцессорный рутил. Полученные спектры комбинационного рассеяния (КР) сравнивались со спектрами из известных баз данных (справочника рамановских спектров RRUFF). Спектры КР минералов хорошо отличаются друг от друга, что дает возможность диагностировать минералы даже при совмещении нескольких фаз.

Геологическое строение Эльмусской площади и участка Южка

Изучение геологического строения Эльмусской площади (рис. 1) и оценка ее металлогенических перспектив в разные годы проводились Карельской ГЭ, ГПП «Невскгеология». С результатами этих исследований можно познакомиться по материалам производственных геологических отчетов В. В. Сиваева (за 1982 г.), А. Ф. Горошко (1997 г.), Ю. В. Петрова (1995 г.), Ю. Н. Новикова и др. (1997 г.) и ООО «Индустрия». Эволюция магматизма и эндогенного рудообразования, петрохимические особенности архейских интрузивных пород и минеральные ассоциации руд рассматриваются в работах: [Кулешевич, Лавров, 2007; Кулешевич, 2008; Кулешевич и др., 2015а]. На исследуемой территории, благодаря работе геологических организаций, были известны ранее и обнаружены в последние годы различные типы рудной минерализации: рудопоявления серноколчеданные (Талпус), сульфидные никелевые (Педроручей), месторождение золота (Педролампи) и серия небольших золото-сульфоарсенидных проявлений. Благодаря поисково-разведочным работам ООО «Индустрия» впервые был выявлен совершенно новый для Карелии тип оруденения кор выветривания и зон окисления – золото-лимонитовое проявление Южка (с содержанием золота до 2,6 г/т, по: [Булавин и др., 2013]).

В геологическом строении Эльмусской площади принимают участие мезоархейские и па-

леопротерозойские образования (рис. 1). Архейские зеленокаменные толщи лопийского надгоризонта (~3,0–2,86 млрд лет) имеют субмеридиональное простирание (аз. пр. 0–20°), изоклиналиное строение и крутое падение к востоку или западу. (Названия геологических подразделений даются по местной стратиграфической шкале.) Архейские толщи прослеживаются от оз. Эльмус до оз. Семчеозеро, формируя единый разрез, подобный Койкарской структуре. Породы метаморфизованы в зеленосланцевой – эпидот-амфиболитовой фации. Архейские толщи перекрываются палеопротерозойскими отложениями сумийско-сариилийского и ятулийского надгоризонтов, образующими небольшие синклиналиные структуры северо-западного и субмеридионального простирания.

Нижняя часть разреза лопийского надгоризонта ($AR_2|p_1$) представлена преимущественно основными породами семчереченской свиты – metabазальтами (альбит-хлорит-эпидот-амфиболовыми породами) и их туфами (кварц-альбит-карбонат-хлоритовыми или эпидот-хлорит-актинолитовыми сланцами). В северной и северо-западной части площади встречаются тремолитовые сланцы по коматиитам и интрузивные ультрабазиты.

В средней части разреза залегают кислые и средние вулканогенно-осадочные образования бергаульской свиты – вулканиды (дациты и риодациты), полосчатые и агломератовые туфы и тонкослоистые туффиты, представленные кварц-карбонат-слюдисто-хлоритовыми, кварц-карбонат-хлорит-серицитовыми сланцами. К туфогенно-осадочной толще приурочены углеродсодержащие сланцы, прослои и линзы массивных и вкрапленно-полосчатых колчеданных руд. Залежи колчеданных руд прослеживаются в меридиональном направлении от участка Талпус до участка Южка. Руды имеют существенно пиритовый состав, содержат 50–70 % сульфидов. Кислые вулканогенно-осадочные толщи в пределах площади прорываются дайками плагио- и кварц-плагиопорфиров (дацитов и риодацитов).

Верхняя часть лопийского разреза, подстилающего ятулийские кварцевые конгломераты, на участках Педролампи и Южка представлена песчаниками и крупнообломочными конгломератами со слабоокатанными гальками разного размера (валунного и галечного) и состава. Обломки представлены порфирами (идентичными по составу дайкам кислого состава), сланцами по туфам риодацитового состава и в основном жильным кварцем в карбонат-кварц-серицитовом цементе. Реже встречаются обломки

хлоритового или актинолит-тремолитового состава. Эта толща может сопоставляться с обломочными породами пулл-апарт бассейна Койкарской структуры [Светов и др., 2005; Кулешевич, Лавров, 2007].

Лопийские отложения прорываются разновозрастными интрузиями и дайками – габброидов, ультрабазитов (Столбовая гора), гранодиоритов (массив Орехозерский), порфировидных гранитов (Талпус – 2,85 млрд лет) [Иванов, Лохов, 2015] и умереннощелочным дифференцированным Эльмуским массивом (~2,74 млрд лет) [Кулешевич, Дмитриева и др., 2015a]. Массив Талпус расположен в центральной части ЭльмуССкой площади, он представлен отдельными вытянутыми гребневидными апикальными выходами интрузии. Массив сопровождается кварцевым штокверком с Au-Cu-Pb-S-As-минерализацией и оказал гидротермальное воздействие на вмещающие толщи. Золото-арсенопиритовая минерализация накладывается на березитизированную вулканогенно-осадочную толщу и колчеданные руды [Кулешевич, 2016].

Архейские зеленокаменные толщи с несогласием перекрываются отложениями палеопротерозойских синклинальных структур, представленных породами сумийско-сарийского (2,4–2,3 млрд л.) и ятулийского (2,3–2,1 млрд л.) надгоризонтов. Небольшая ятулийская Педролампинская структура представлена кварцевыми конгломератами, гравелитами и metabазальтами.

В пределах ЭльмуССкой площади выделяются разломы архейского и протерозойского возраста. К позднеархейским субмеридиональным зонам деформаций (шир-зонам) приурочены рассланцевание, метасоматические изменения пород и золотосульфидная или сульфидная минерализация. Палеопротерозойские (постъятулийские) деформации в пределах площади имеют доминирующее северо-западное простирание, к этим зонам в ятулийских толщах приурочены гидротермально-метасоматические изменения пород (эпидотизация и альбитизация в базитах), сопровождающиеся халькопиритовой минерализацией. На участке Педролампи выделяются разновозрастные деформации (ССВ и СЗ).

Эндогенные золоторудные проявления ЭльмуССкой площади были выявлены благодаря производственным геологическим работам (КГЭ, «Невскгеология», ООО «Индустрия»). Они представлены различными генетическими и минеральными типами, в архейских толщах установлены: 1 – золотосодержащие колчеданные руды (проявление Талпус); 2 – шток-

верковая золото-сульфоарсенидно-кварцевая минерализация в гранит-порфирах, кварц-плагиопорфирах и вмещающих кислых толщах (проявления Талпус-гранитный, ЭльмуС, В. Орехозеро); 3 – вкрапленно-прожилковые золото-сульфидные и сульфидные проявления в березитах и лиственитах шир-зон (месторождение Педролампи, проявления Талпус-арсенопиритовый, Гавшланоя). В палеопротерозойских толщах установлена: 4 – золотосодержащая медно-сульфидная минерализация в кварцевых гравелитах (проявление Кюняшельга и другие).

Экзогенная золото-лимонитовая минерализация обнаружена в зоне окисления колчеданных руд и дезинтегрированных сланцев бергаульской свиты (рудопроявление Южка).

Результаты исследований

Рудная минерализация участка Южка

Геологическое строение. На участке Южка (рис. 2) вмещающая толща представлена серицит-карбонат-кварц-хлоритовыми, хлорит-карбонат-кварц-серицитовыми сланцами, колчеданными рудами, песчаниками и конгломератами бергаульской свиты лопийского надгоризонта ($AR_2 Ip_2$), на севере перекрытыми ятулийскими кварцевыми гравелитами и metabазальтами ($PR_1 jt$). Разрез участка Южка подобен верхней части разреза золоторудного месторождения Педролампи.

Южнее оз. Педролампи установлена зона разлома северо-восточного простирания, в которой наблюдается дробление и интенсивная дезинтеграция всех пород верхней и средней части разреза бергаульской свиты. По раздробленным породам развивается линейная кора выветривания и зона окисления, представленная желто-коричневой лимонитовой массой с обломками окисленных слюдино-хлоритовых, кварц-серицитовых сланцев, колчеданов и раздробленных кварцевых жил. Параметры окисленной зоны составляют $0,3 \div 0,5 \times 1$ км, мощность – до 300 м. В зоне разлома происходит окисление практически всех вмещающих толщ и колчеданных руд с образованием рыхлых желтовато-коричневых охр, пористых лимонитов, плотных и кавернозных образований железной шляпы [Кулешевич, Сенькин, 2015]. В тектонической зоне вмещающие серицит-хлоритовые сланцы превращаются в дресву и сыпучку и сильно ожелезняются. Вмещающие породы брекчированы, среди них встречаются разные по составу и размеру угловатые, неокатанные обломки кварце-

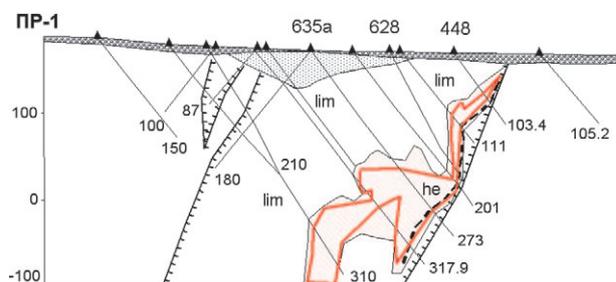
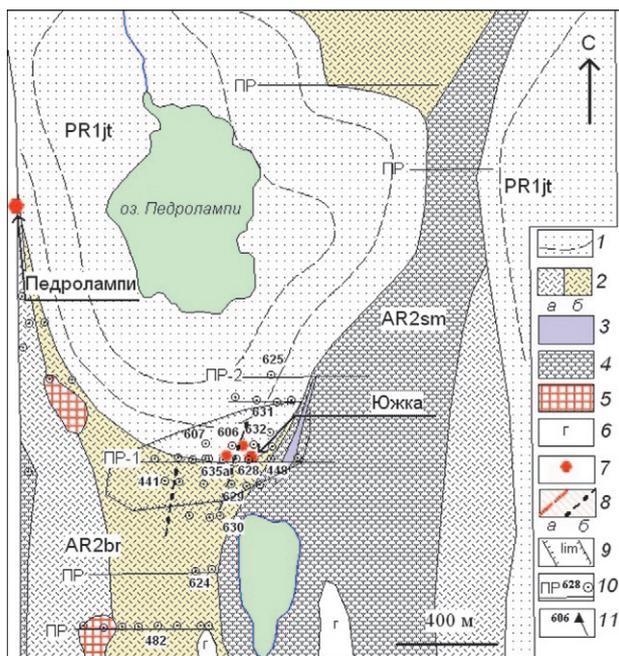


Рис. 2. Схема геологического строения участка Южка (а) и разрез к ней (б) (упрощенно по материалам ООО «Индустрия»):

1 – кварцевые конгломераты, метабазалты, PR_{1jt}; 2 – карбонат-кварц-серицит-хлоритовые сланцы (а), хлорит-кварц-карбонат-серицитовые сланцы, метапесчаники с кварцевыми обломками (б), (бергаульская свита, AR_{2lp}); 3 – метакоматииты, 4 – метабазалты (семчереченская свита, AR_{2lp}); 5 – лейкограниты (подобные массиву Талпус); 6 – габбро; 7 – месторождение Педролампи и проявление золота Южка (выделены скважины, в которых обнаружено самородное золото); 8 – контур рудной золото-лимонитовой окисленной зоны (а), колчеданные руды (б); 9 – зона дробления и окисления (lim – лимонитовая, гематит-гетитовая, he – гетит-гематитовая); 10 – профили бурения; 11 – скважины на схеме и в разрезе (указаны номера скважин, по которым изучалась рудная минерализация)

Fig. 2. Scheme showing the geological structure of the Yuzhka prospect (a) and its cross-section (b):

1 – quartz conglomerates, metabasalts, PR_{1jt}; 2 – carbonate-quartz-sericite-chlorite schists (a), chlorite-quartz-carbonate-sericite schists, metasediments with quartz clasts (b), (Bergaul suite, AR_{2lp}); 3 – metakomatiites; 4 – metabasalts (Semcherechenskaya suite, AR_{2lp}); 5 – leucogranites (similar to those in the Talpus massif); 6 – gabbro; 7 – Pedrolampi deposit and Yuzhka gold occurrence (boreholes, in which native gold was found, are indicated); 8 – oxidized gold-limonite ore zone contour (a), pyrite ores (b); 9 – shatter and oxidation zone (lim = limonite, hematite-goethite, he = goethite-hematite); 10 – drilling profiles; 11 – boreholes in the scheme and in cross-section (numbers indicate the boreholes in which ore mineralization was studied)

вых жил, иногда сланцев и колчеданных руд (рис. 3).

В слюдисто-хлоритовых сланцах Mg-Fe-хлорит полностью замещается лимонитом, отчасти ожелезняется и серицит. В обломках ожелезненных сланцев встречаются раздробленные акцессорные минералы первичных ассоциаций – рутил, циркон, монацит, ксенотим, апатит. Крупные кварцевые обломки в брекчиях встречаются в неокатанных, остроугольных включениях разного размера, сцементированные лимонитом (рис. 3, а–в). По своей первичной природе они представляют собой раздробленные жилы и прожилки, секущие сланцы. В обломках кварца иногда встречаются кристаллы неокисленных сульфидов. В интервале колчеданных руд раздробленный пирит замещается гематитом (рис. 3, е). Гидроокислы железа цементируют кварцито-песчаники (рис. 3, г), а также повторно брекчированные

в тектонической зоне лимонитовые породы (рис. 3, д).

Петрохимические особенности окисленных пород. Химический и микроэлементный состав окисленных пород с разным соотношением лимонита, кварца и силикатов представлен в таблице 1 по данным опробования трех скважин: 628, 629, 635. В богатой лимонитом зоне окисления содержание окисленного железа достигает 60–87 %, потери при прокаливании составляют 6,0–16,5 %, содержание глинозема и прочих компонентов низкое, в отдельных образцах присутствует сера (вне горизонта колчеданных руд).

В своем микрокомпонентном составе лимонитизированные брекчии с крупным обломочным кварцем и песчаники (с высоким содержанием SiO₂ – 90,0–95,6) содержат наиболее низкие и неравномерные концентрации микропримесей всех элементов, в частности, та-

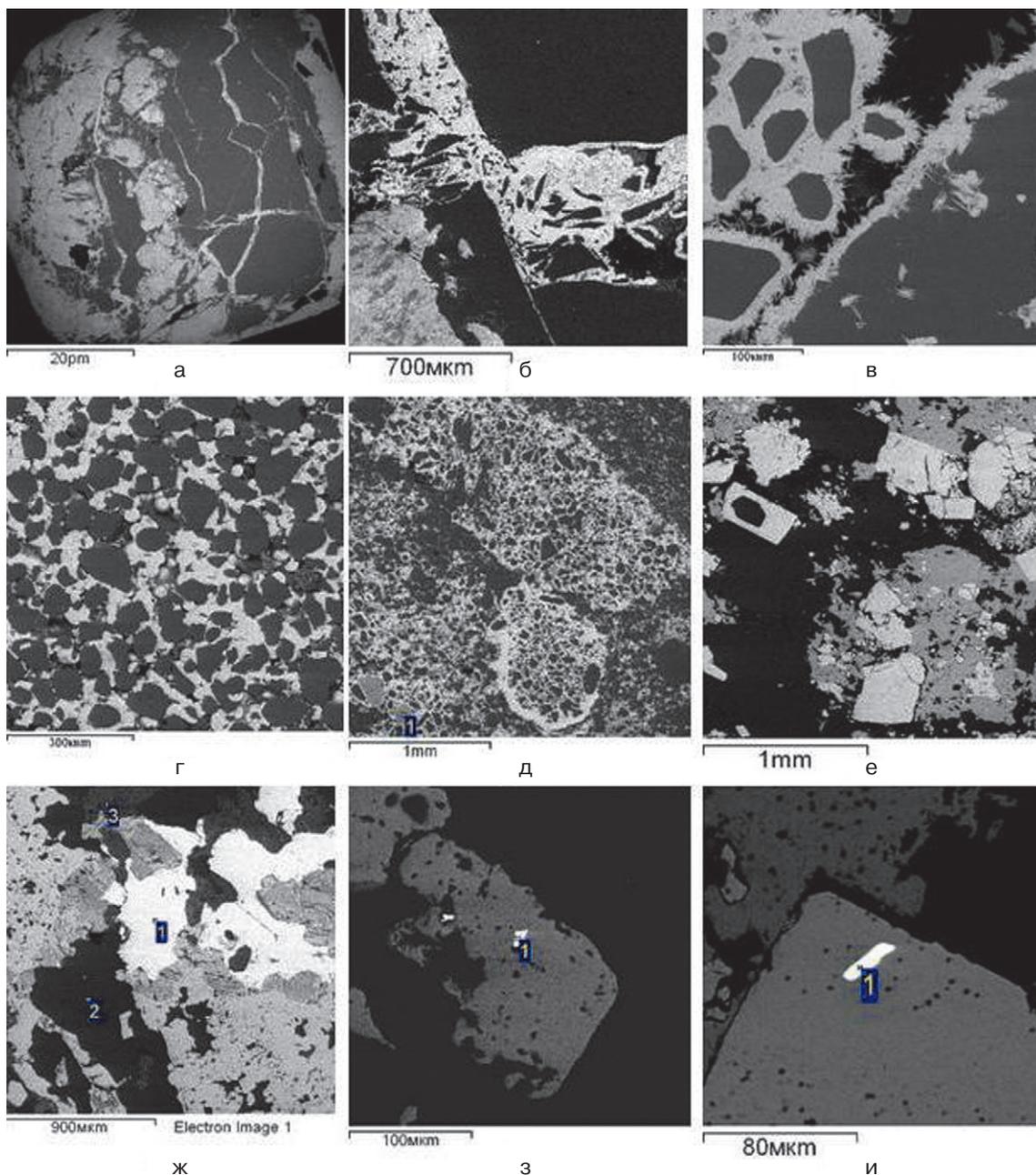


Рис. 3. Текстуры и минеральные ассоциации раздробленных пород и колчеданных руд на участке Южка:

а–в – брекчированные кварцевые жилы, сцементированные гематитом (а, б, образец 606-223.3-1; 2) и гетитом (в, 629-171-2); г – кварцито-песчаник с лимонитовым цементом; д – лимонитовая брекчия с обломками кварца, гематит-гетитовыми и рутилом (1) (635-205-1); е – раздробленные колчеданные руды, пирит (белый) цементируется гематитом (серый) (607-230-13); ж – колчеданные руды: пирит светло-серый и темно-серый окисленный (3) в сростании с халькопиритом (1) и кварцем (2) (635а-8); з – джемсонит (1) и галенит (белый) в пирите (607-315.3-8); и – семсейит в пирите, гематит (темно-серый) (607-230-18)

Fig. 3. Textures and mineral associations of broken rocks and pyrite rocks at Yuzhka occurrence:

а–в – brecciated hematite- (а, б, sample 606-223.3-1; 2) and goethite- (в, 629-171-2) – supported quartz veins; г – limonite-supported quartzitic sandstone; д – limonitic breccia with quartz, hematite-goethite and rutile clasts (1) (635-205-1); е – broken pyrite ores, pyrite (white) is supported by hematite (grey), (607-230-13); ж – pyrite (light-grey, 3 – dark-grey, oxidized) intergrown with chalcopyrite (1) and quartz (2) from pyrite ores (635а-8); з – jamesonite (1) and galena (white) in pyrite (607-315.3-8); и – semseyite in pyrite; hematite (dark-grey) (607-230-18)

ких как Ni, Co, Cu, Zn, As, Sb, Au (табл. 2/1-2). Лимониты по сульфидсодержащим породам и колчеданным рудам (табл. 2/6) выделяются

повышенными концентрациями Cu, Ni, Co, Pb, Sb, As, Те и неравномерно распределенной S. Наиболее высоким содержанием Ni, Co, Cu

Таблица 1. Состав лимонитовых зон окисления проявления Южка (мас. %, ppm)

Table 1. Composition of limonite oxidation zones at Yuzhka occurrence (mas. %, ppm)

Компонент Component	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂ , %	90,36	95,62	55,17	43,6	54,17	40,06	20,81	37,85	27,95	6,80	1,95
TiO ₂	0,10	0,09	0,11	0,38	0,71	0,19	0,25	0,45	1,06	0,08	0,05
Al ₂ O ₃	0,86	0,63	2,01	0,45	1,65	4,53	1,64	0,96	3,12	0,92	0,66
Fe ₂ O ₃ t	7,24	2,14	39,82	45,9	37,15	30,48	66,04	58,86	60,46	87,13	82,57
MnO	0,04	0,02	0,10	0,06	0,06	0,14	0,10	0,05	0,08	0,12	0,17
MgO	0,28	0,20	0,11	-	0,16	3,22	-	-	0,01	-	-
CaO	0,58	0,55	0,57	0,48	0,55	4,36	0,76	0,52	0,49	0,53	0,49
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	0,07	0,06	0,10	0,03	0,06	0,05	0,14	0,07	0,66	0,06	0,02
P ₂ O ₅	0,04	0,00	0,24	0,10	0,40	0,01	0,81	0,03	0,17	0,20	0,39
S	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,56	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01
ппп	0,39	0,18	1,68	8,56	4,91	16,46	8,75	0,70	6,08	3,33	13,07
Σ	99,97	99,50	99,93	99,58	99,83	100,06	99,31	99,52	100,10	99,19	99,38
V, ppm	98	23	43	19	316	71	176	35	170	21	65
Cr	413	36	910	811	3646	127	939	367	400	430	207
Co	7,2	2,8	12,2	12,4	6,5	184	9,1	4,5	23	6,4	23,6
Ni	55,7	17,7	51,8	61,6	32,1	263	27,4	64	134	36,5	81,7
Cu	51	20	62	113	187	1226	193	11	103	114	118
Zn	14	11	12	14	20	55	34	6,7	66	8,4	15
As	29	7	407	280	97	44	587	114	429	461	276
Y	1,3	0,7	1,6	1	3,0	12	5,5	3,1	10	1,7	1,2
Zr	7,7	6,8	26	10	26,3	19	43	71	155	16,3	15,7
Sb	12,5	17	312	245	262	34	340	329	443	186	190
Te	-	-	-	0,72	-	3,38	0,92	0,94	0,33	0,46	0,33
Ba	11	8	98	21	30	65	64	22	104	16	35
Pb	3,3	2,1	142	24,5	6,9	83	63	71	74	28,5	10,6
Bi	0,09	0,12	0,32	0,32	0,07	0,37	0,21	0,65	0,09	0,12	0,07
REE	6,5	2,9	219	3,9	7,7	41,1	31,6	4,6	20,9	6,6	5,3
Ag	0,06	0,04	0,05	1,14	0,1	0,33	0,11	0,01	-	0,23	0,1
Au	0,13	0,1	0,2	1,03	0,13	0,15	0,37	0,33	0,17	1,36	0,18
Th	2,6	1	23	9	28	0,9	58	1,5	10	10	28
U	0,72	0,2	12	6	5,5	0,7	6	5	3	5	5
образец sample	628– 140.6	635– 228.1	628– 156.4	635– 191.5	635A– 200.08	635A– 263.95	629– 169.85	629– 171.8	629– 177.8	635– 205.56	628– 164.85

Примечание. 1, 2 – обломочные кварцевые брекчии, лимонитизированные; 3–5 – гетит-гематитовая зона; 6 – гематитизированные сланцы с колчеданами; 7, 9 – гетитовая; 8 – гематитовая; 10 – гематит-гетитовая; 11 – гидрогетит-гетитовая зоны. «-» – ниже предела обнаружения.

Note. 1, 2 – clastic quartz breccia clasts, limonitized; 3–5 – goethite-hematite zone; 6 – hematitized schists with pyrites; 7, 9 – goethite; 8 – hematite; 10 – hematite-goethite; 11 – hydrogoethite-goethite zone. «-» – below limit of detection.

характеризуются непосредственно колчеданные руды (табл. 2/б). Для богатой лимонитовой зоны с высоким содержанием окисленного железа (37–87 %) характерны повышенные концентрации As, Sb, Pb и Au (0,33–1,36 г/т) и неравномерное распределение Cr, Cu, Ni, что обеспечивается первичным составом окисленных пород и рудной минерализации. Содержание REE, Y, Zr, P в лимонитовых зонах низ-

кое и неравномерное. Эти элементы связаны с редкими сохранившимися в обломках пород неокисленными кристаллами акцессорных минералов, установленных микронзондовым анализом (апатита, циркона, монацита, ксенотима). Вкрапленная S-Sb-As-минерализация, сохранившаяся в раздробленных кварцевых жилах и окисленных сланцах, обеспечила повышенные концентрации As, Sb, Pb, Ni, Co.

Таблица 2. Химический состав Cu-Pb-сульфосолей из колчеданных руд и кварцевых жил проявления Южка

Table 2. Chemical composition of Cu-Pb-sulphosalts from pyrite ores and quartz veins at Yuzhka occurrence

Компоненты Component	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fe (%)	20,04	14,64	5,64	5,80	4,49	5,62	5,62	5,48		3,28	2,25	4,85
Pb					34,24	35,30	35,78	37,38	52,67	50,55	55,98	55,06
Cu	34,75	36,43	36,58	37,45								
Sb	10,49	14,38	24,57	28,25	38,65	35,96	35,44	32,97	28,53	26,74	20,75	17,81
S	34,71	34,54	33,20	28,49	22,62	23,13	23,17	24,17	18,81	19,43	21,0	22,48
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
№ обр. sample no.	635a/ 263.5	635a/ 263.5	635a/ 263.5	607/ 230.2	630/ 54.8	630/ 54.8	607/ 315.3	607/ 315.3	607/ 230.2	С607/ 230.2	607/ 230.2	С607/ 230.2
№ точки point no.	22-1	22-3	23-1	8-1	37-1	38-1	8-1	19	2-1	18-1	7-1	19

Примечание. 1, 2 – Sb-содержащий халькопирит в кайме халькопирита; 3, 4 – тетраэдрит $Cu_{12}(SbS_3)_4S$; 5 – плагионит $Pb_5Sb_8S_{17}$; 6-8 – джемсонит $FePb_4Sb_6S_{14}$; 9, 10 – семсейит $Pb_9Sb_8S_{21}$; 11, 12 – буланжерит $Pb_5Sb_4S_{11}$.

Note. 1, 2 – Sb-bearing chalcopyrite in the flange of chalcopyrite; 3, 4 – tetrahedrite $Cu_{12}(SbS_3)_4S$; 5 – plagiionite $Pb_5Sb_8S_{17}$; 6-8 – jamesonite $FePb_4Sb_6S_{14}$; 9, 10 – semseyite $Pb_9Sb_8S_{21}$; 11, 12 – boulangerite $Pb_5Sb_4S_{11}$.

Таблица 3. Химический состав сульфоарсенидов и теллуридов из колчеданных руд проявления Южка

Table 3. Chemical composition of sulphoarsenides and tellurides from pyrite ores at Yuzhka occurrence

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Fe (%)	9,67	8,30	8,33	6,22	5,40	7,47	11,48	12,20	11,52		
Co	12,80	17,04	12,58	18,49	15,85	16,22	0,77		3,92		
Ni	10,44	10,01	10,75	11,71	10,39	9,64	20,65	20,33	17,84	17,42	
As	45,04	43,08	44,74	43,30	46,45	43,47	43,74	44,12	44,14		
S	22,04	21,57	23,61	20,69	21,94	23,20	21,13	21,13	22,59		
Te										82,58	
Σ	100	100	100	100	100	100	100	97,77	100	100	
№ обр. sample no.	635/205	630/54.8					630/54.8				635/263.5
№ точки point no.	4-1	33-1	33-2	33-3	33-4	40-1	12-1	13-1	28-1	4-1	

Примечание. 1-6 – кобальтин (Fe, Ni, Co) (AsS); 7-9 – герсдорфит (Ni, Fe) (AsS); 10 – мелонит (NiTe).

Note. 1-6 – cobaltite (Fe, Ni, Co) (AsS); 7-9 – gersdorffite (Ni, Fe) (AsS); 10 – melonite (NiTe).

Минеральные ассоциации неокисленных колчеданных руд и раздробленных кварцевых жил

Колчеданные руды на участке Южка были подсечены в нижних частях разреза, в частности, в скважине С-635 на глубине 260–300 м (рис. 2, б). В тектонической зоне колчеданные руды подверглись дроблению и интенсивному окислению. Для них характерны брекчиевидные текстуры, сохранившиеся кубические и раздробленные кристаллы пирита, сцементированные гематитом (рис. 3, е). Сульфиды представлены пиритом, халькопиритом (рис. 3, ж). Реже в пи-

рите встречаются включения сфалерита, галенита, единичные зерна пирротина, мелонит (NiTe), сульфосоли и сульфоарсениды (табл. 2, 3). Сульфосоли представлены Pb-Sb-S- и Cu-Fe-Sb-S- фазами (рис. 3, з, и), такими как семсейит, тетраэдрит, джемсонит, плагионит, буланжерит, сульфоарсениды – кобальтином, герсдорфитом. Халькопирит замещается стиббио-халькопиритом. В обломках кварцевых жил установлены пирит, сульфосоли, кобальтин и герсдорфит.

При окислении колчеданов на начальных стадиях сначала наблюдается потемнение пирита, происходит образование «кружевных» пленок гематита, затем он замещается гемати-

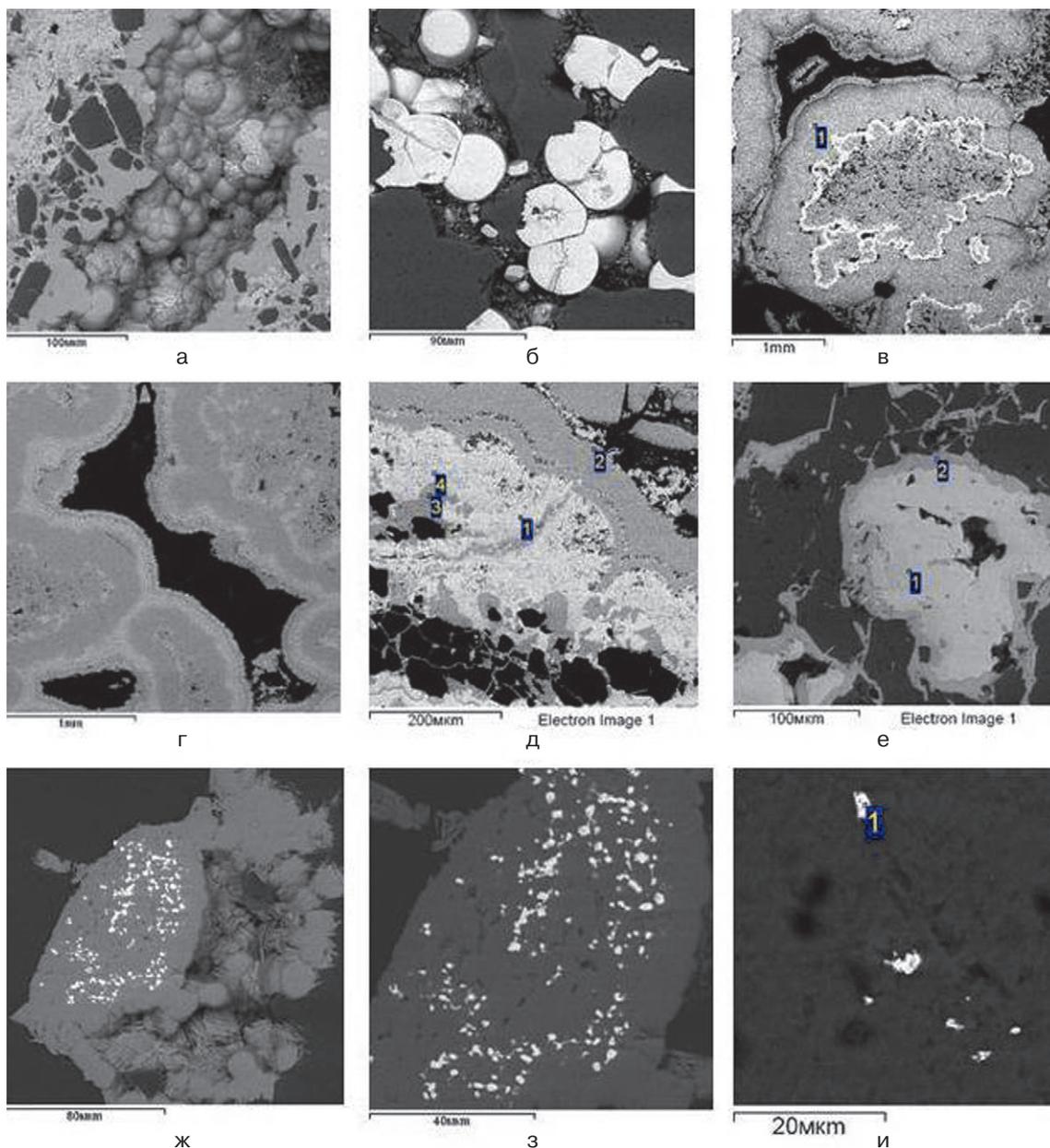


Рис. 4. Минеральные ассоциации и морфология минералов зоны окисления участка Южка:

а – почки гетита в брекчии вмещающих сланцев (628-165-3); б – почки гетита в песчаниках (628-155-11); в, г, д – зональные гетит-гематитовые образования в плотных лимонитах (в – 607–276.5–3; г – 635-191-2; д – 635-205-13: гематит – 1, 4, гетит – 2, 3); е – гематит (1) замещается гетитом (2) (630–54.8–3); ж, з – золото в гетите (629-171-6; 5); и – золото (1) в рыхлой лимонитовой массе (606–223.3–10)

Fig. 4. Mineral associations and their intergrowth morphology in the oxidation zone of Yuzhka occurrence:

а – goethite buds in host schist breccia (628-165-3); б – goethite buds in sandstones (628-155-11); в, г, д – zonal goethite-hematite units in consolidated limonites (в – 607–276.5–3; г – 635-191-2; д – 635-205-13: hematite – 1, 4, goethite – 2, 3); е – hematite (1) is replaced by goethite (2) (630–54.8–3); ж, з – gold in goethite (629-171-6; 5); и – gold in unconsolidated limonite mass (606–223.3–10)

том и гидроксидами железа (рис. 4). Халькопирит в кайме иногда обрастает Sb-содержащей фазой, а при окислении замещается сначала борнитом, затем халькозином и гематитом, галенит – англезитом и Pb-Al-P-фазой. Гораздо реже в сростании с лимонитом встречаются новообразованные барит, торитофосфат.

Следует также отметить, что первичные минералы, такие как кобальтин, герсдорфит, арсенопирит, сульфосоли (Pb, Cu, Fe), известны и достаточно широко распространены на Эльмусской площади на участках Гавшланная и Талпус [Олейник и др., 2013; Кулешевич, 2016].

Таблица 4. Фазовый рентгеновский анализ образцов лимонитовой зоны (%)

Table 4. Phase X-ray analysis of samples from the limonite zone (%)

Минерал Mineral	1	2	3	4	5	6	7
гетит goethite	100		33,4		35,8	61,2	20,8
гематит hematite		60,4	49,9	76,3	43,4	30,6	31,9
кварц quartz		39,6	16,7	23,7	20,8	8,2	47,3
образец sample	628/164.86	628/156.35	629/169.85	629/171.8	629/177.8	635/191.5	635/205.6

Лимонитовая зона окисления

Зона окисления развивается по колчеданам и вмещающим породам. Замещение лимонитом хлоритсодержащих сланцев и колчеданов сопровождается образованием рыхлых и пористых отложений и более плотной железной шляпы. Обломки пород и кварцевых жил цементируются лимонитовыми охрами, гематитом, обрастают зональными почками и игольчатым гетитом (рис. 4).

Вся зона в целом представляет собой желтовато-коричневую (ржавую) рыхлую, пористую либо плотную сцементированную неоднородную Fe-O-руды, иногда с большим количеством кварцевых обломков и сильно ожелезненных, замещенных лимонитом, вмещающих пород. Текстуры лимонитов обломочные, натечные, почкообразные, рыхлые, зональные, кокардовые, брекчиевидные (рис. 3, 4), структуры – неоднородные и неравномерно-зернистые. При окислении колчеданных руд развивается зональность: 1 – зона раздробленных и слабоизмененных пиритовых руд, 2 – пирит-гематитовая и 3 – лимонитовая (гематит-гетитовая) зона большой мощности. Зоны окисления по колчеданным рудам (площадные и линейные) развиваются на многих месторождениях мира и особенно распространены в южных широтах. Развита она на Урале, были обнаружены и в более северных широтах, как, например, проявление Хребта Серповидного на Кольском полуострове [Коган и др., 2011].

Лимонитовая зона окисления участка Южка представляет собой минеральную смесь гематита и гетита с незначительным количеством нерудных минералов – кварца, серицита, иногда хлорита. Для диагностики оксидов и гидроксидов железа были проведены рентгеновский, термический анализы и рамановская спектроскопия (рис. 5, 6). По линиям на рентгенограммах в проанализированных образцах установлены гетит, гематит, кварц в разных соотношениях (табл. 4, рис. 5).

Образец № 1 (628/164.86) содержит 100 % гетита (табл. 4), его главные линии на рентгенограмме (1): 4.982; 4.182 (100); 2.693; 2.490; 2.449; 2.189. В образцах №№ 2, 4 (628/156.35; 629/171.8) преобладает гематит и присутствует кварц. Главные линии гематита (рис. 5): 4.258; 2.700; 2.518; 1.842; 1.695. В остальных образцах №№ 3, 5–7 (табл. 4) и 3, 5 (рис. 5) в разных соотношениях присутствуют все три фазы.

Данные термического анализа рыхлой лимонитовой охры показали, что переход гидроксидов в α -гематит происходит при температуре около 324°, дегидратация – в интервале 20–361 °С. При нагревании от 20 до 280° потеря в весе составила 7,3 %, до 361° – 4,5 % за счет выделившейся воды (H_2O , OH^{-}). Сумма потерь составила 11,8 %, что может соответствовать гетиту (до 10–12 %), отчасти с примесью гидрогетита (до 12–14 % воды).

Рамановский спектроскопический анализ и сравнение полученных спектров с базой RRUFF подтвердили присутствие в образцах лимонитовых минеральных смесей (имеющих разный внешний вид, цвет, плотность) нескольких фаз. Лимониты (рыхлые, плотные пористые или натечные) представлены гетитом (или тонкодисперсным гетитом-гидрогетитом) либо срастанием гематита с гетитом (рис. 6). Для гетита (рис. 6, а) основными диагностическими линиями являются полосы (в cm^{-1}): 301, 315, 390, 402, 430, 491, 553, 565, 692. Полученные рамановские спектры рыхлых лимонитовых смесей сопоставимы с диагностическими спектрами гетита в зоне окисления колчеданных руд Печенгской структуры [Компанченко и др., 2017], в наших образцах не был установлен только лепидокрокит. Для образцов с преобладанием гематита (рис. 6, б) присущи следующие максимумы (в cm^{-1}): 228, 242, 295, 306, 410, 426, 514, 628, 674. В средней и частично верхней части зоны окисления образцы обычно представлены срастанием гематита и гетита, в нижней (по колчеданам) – преобладает гематит.

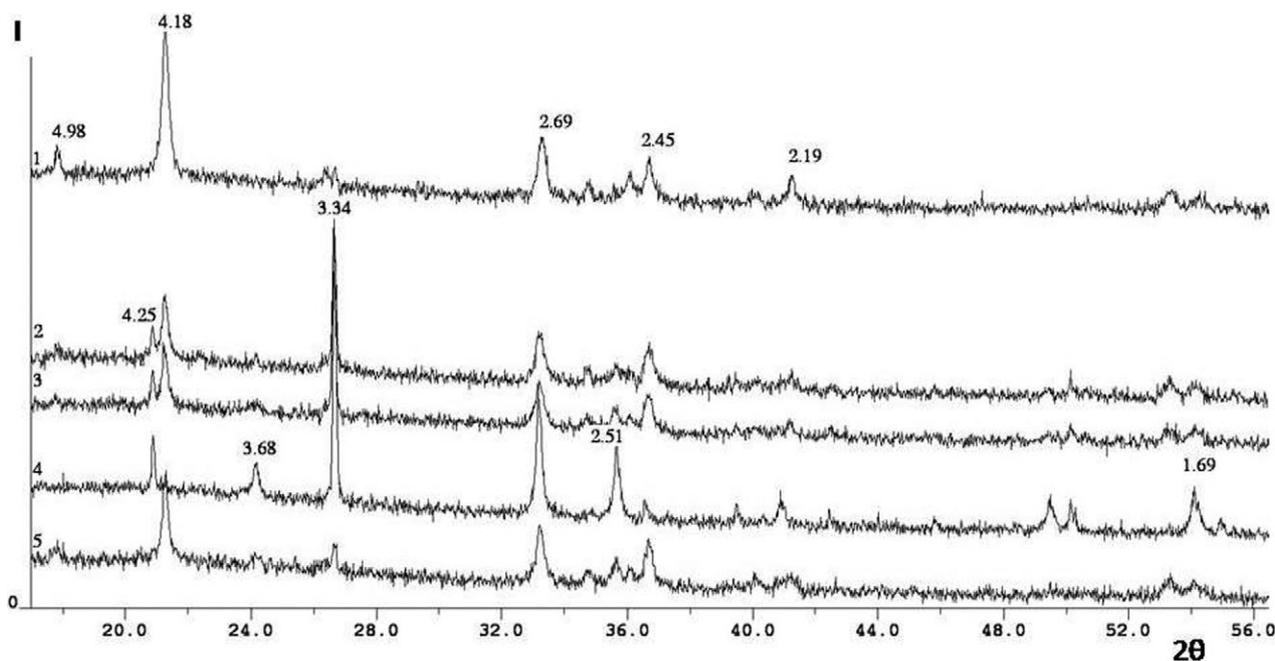


Рис. 5. Рентгенограммы образцов лимонитов: 1 – гетит, кварц, 2–5 – гематит, кварц, гетит (I – интенсивность, 2θ – угол)

Fig. 5. X-ray photographs of limonite mixtures: 1 – goethite, quartz; 2–5 – hematite, quartz, goethite (I – intensity, 2θ – angle)

Благороднометалльная минерализация

Благороднометалльная минерализация приурочена к гетит-гематитовой зоне нижней части геологического разреза, развивающейся по окисленным колчеданным рудам [Кулешевич, Сенькин, 2015]. Золото тонкодисперсное (обнаружено в аншлифах скважин 635, 629, 628, 606). Размер золотинок составляет 1–5 мкм, встречаются чешуйчатые и пленочные формы (рис. 4, ж–и). Золото обычно высокопробное, содержит 1–10 % Ag.

Было установлено, что на участке Южка золото встречается преимущественно как новообразованное в лимонитовой массе и непосредственно в почках гетита. В кварцевых обломках отдельных изученных образцов обнаружены редкие сохранившиеся сульфиды и сульфосоли, золотинок встречено не было, в окисленных колчеданах отмечены единичные зерна.

Содержание Au в верхней части лимонитовой зоны составляет 0,13–0,37 г/т, в нижней части лимонитовой зоны (глубина 200–250 м) – 1,03–1,36 г/т (табл. 1, ICP-MS анализ, выполнен в ИГ КарНЦ РАН). По данным бурения, проведенного компанией ООО «Индустрия», оруденение прослежено на глубину до ~300 м: мощность отдельных Au-содержащих рудных тел колеблется от долей метра до 10–13 м, содержание Au колеблется, в среднем составляя 1,72–2,6 г/т, и достигает 13,2 г/т.

Заключение

Лимонитовая минеральная смесь в зоне окисления проявления Южка сложена гематитом, гетитом, что подтверждается методами рентгеновского, термического анализа и рамановской спектроскопии. Они встречаются в плотных кавернозных и натечных формах, охрах и рыхлых образованиях с обломками кварца, сланцев и кварцито-песчаников. Гидроксиды (гетит и отчасти гидрогетит) образуются ближе к поверхности в сильно обводненной зоне. Гетит установлен в рыхлых частях зоны окисления, охрах (отчасти в сростании с гидрогетитом), плотных образованиях, натечных почках и игольчатых кристаллах. Зональные почки гетита с гематитом имеют кокардовые текстуры. Сростание гетита и гематита – наиболее часто устанавливаемая ассоциация, развитая в центральной части зоны и распространенная вплоть до нижних уровней, подсеченных скважинами. Тем не менее гематит преобладает в нижних частях зоны, он образуется непосредственно при окислении раздробленных колчеданов. Гематит замещается гетитом, встречается в зональных прорастаниях с ним, а также рыхлых и пористых образованиях.

Лимонитовая зона содержит до 30–95 % окисленного железа, потери при прокаливании лимонитов составляют 6–16 %. В лимонитовой массе сохраняются угловатые обломки кварце-

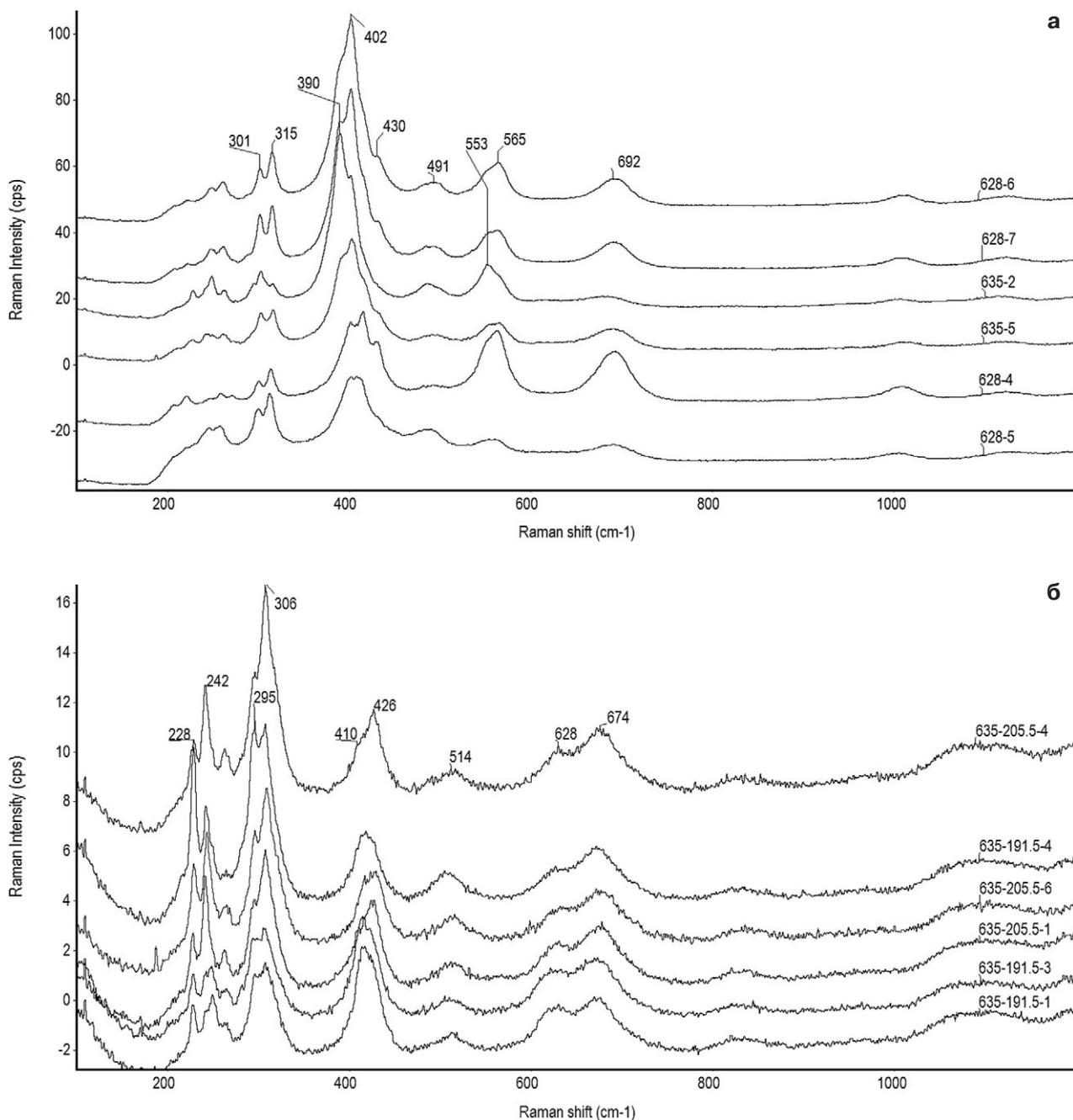


Рис. 6. Рамановские спектры лимонитовых минеральных смесей, проявление Южка: а – гетит, б – гематит с примесью гетита

Fig. 6. Raman spectra of limonite mineral mixtures from Yuzhka occurrence: а – goethite, б – hematite, with goethite impurity

вых жил, в которых встречаются неокисленные вкрапленные кристаллы сульфидов, сульфосолей, сульфоарсенидов и установлены редкие обломки аксессуарных минералов (рутил, апатит, циркон, монацит, ксенотим). В нижней части геологического разреза выявлен горизонт брекчированных колчеданных руд, сильно окисленных и сцементированных гематитом.

Соответственно, в лимонитовой зоне окисления кардинально меняется вещественный и химический состав первичных пород и руд.

В лимонитовой зоне установлены повышенные концентрации Cu, As, Sb, Pb и несколько повышенные концентрации Co, Ni, что сопоставимо с элементным составом колчеданных руд участка Южка и проявления Талпус, распо-

ложенных в южной части площади, и подтверждает образование лимонитовых зон по подобным рудам. Окислению подвержены не только сульфиды колчеданных руд, но и все железосодержащие минералы карбонат-слюдисто-хлоритовых сланцев. Источником золота и элементов-спутников, как предполагается, могли быть как окисленные колчеданы, так и рудная минерализация раздробленных кварцевых жил. Золото выделяется в тонкодисперсной форме в виде чешуек и пленок в почках гетита и рыхлой массе. Содержание золота в зоне окисления – 1–13,2 г/т, ресурсы составляют 5,37 т (по данным ООО «Индустрия»). Благороднометалльная минерализация представлена тонкодисперсным (1–5 мкм) высокопробным золотом с содержанием Ag 1–10 %. По генезису рудопроявление представляет собой современную линейную кору выветривания и зону окисления по колчеданным рудам и вмещающим сланцам бергаульской свиты, содержащим кварцевые жилы, которые могли быть источником гипергенного золота.

Литература

Булавин А. В., Добрынина Д. Н., Олейник И. Л. Новые данные о золотонности Эльмусской площади (Центральная Карелия) // Золото Фенноскандинавского щита: Мат-лы междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 16–19.

Иванов Д. В., Лохов К. А. Первые данные о U-Pb возрасте цирконов из гранитного массива Талпус (Эльмусская площадь, центральная Карелия) // Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского. СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. С. 431–435.

Коган В. В., Мудрук С. В., Волошин А. В., Балаганский В. В. Морфология гетита и первые данные по минералогии коры выветривания – «железной шляпы», Серповидный хребет, Кейвы, Кольский полуостров // Мат-лы науч. сессии, посвящ. Дню российской науки и 55-летию КО РМО ГИ КНЦ РАН / Под ред. Ю. Л. Войтеховского. Апатиты, 2011. С. 51–57.

Компанченко А. А., Волошин А. В., Сидоров М. Ю. Минералы железа в зоне окисления колчеданных руд Южно-Печенгской структурной зоны, Кольский регион: индентификация методом рамановской

спектроскопии // Вестник МГГУ. 2017. Т. 20, № 1/1. С. 95–103.

Кулешевич Л. В. Педролампи – золото-сульфидное месторождение в докембрии Карелии // ДАН. 2008. Т. 422, № 6. С. 1–5.

Кулешевич Л. В., Дмитриева А. В., Лавров О. Б., Иванов Д. В. Эльмусская зеленокаменная структура: эволюция интрузивного магматизма, изменения пород и рудная минерализация (Центральная Карелия) // XII Всероссийское петрографическое совещание 15–20 сентября 2015 г. Петрозаводск, 2015а. С. 441–444.

Кулешевич Л. В., Лавров О. Б. Месторождение Педролампи и золоторудные проявления Эльмусской площади // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 140–158.

Кулешевич Л. В., Лавров О. Б., Дмитриева А. В. Золото-сульфоарсенидная минерализация проявления Талпус, Эльмусская площадь, Карелия // XII Всероссий. с междунар. участием Ферсмановская науч. сессия, посвященная 80-летию со дня рождения акад. РАН Ф. П. Митрофанова, 6–7 апреля. Апатиты, 2015б. С. 130–134.

Кулешевич Л. В., Сенькин Н. Н. Рудная минерализация золото-гетит-гематитового проявления Южка, Центральная Карелия // Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение, экология (РКВ-2015): XV Междунар. совещ. Пермь: ГНИУ, 2015. С. 125–126.

Кулешевич Л. В. Золото-сульфоарсенидная минерализация Эльмусской площади, Карелия // Федоровская сессия 2016: Мат-лы междунар. науч. конф. СПб.: РМО, 2016. С. 143–145.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2005. 280 с.

Олейник И. Л., Кулешевич Л. В., Лавров О. Б., Иванов Д. В. Рудно-формационные типы и минеральные ассоциации золоторудных объектов Эльмусской площади // Золото Фенноскандинавского щита: Мат-лы междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 141–145.

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

Поступила в редакцию 19.01.2018

References

Bulavin A. V., Dobrynina D. N., Oleinik I. L. Novye dannye o zolotonosti El'musskoi ploshchadi (Tsentral'naya Kareliya) [New data on the gold potential of the Elmus area, Central Karelia]. *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita: Mat-ly mezhd. konf.* [Proceed. Int. Conf. Gold of the Fennoscandian Shield]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 16–19.

Ivanov D. V., Lokhov K. A. Pervye dannye o U-Pb vozraste tsirkonov iz granitnogo massiva Talpus (El'musskaya ploshchad', tsentral'naya Kareliya) [The first data on the U-Pb age of zircons from the Talpus granite massif, Elmus area, Central Karelia]. *Mat-ly IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molod. uchenykh i spetsialistov pamyati akad. A. P. Karpinskogo* [Proceed.

Acad. A. P. Karpinsky 4th Int. Practical and Training Conf. of Young Scientists and Specialists]. St. Petersburg: VSEGEI, 2015. P. 431–435.

Kogan V. V., Mudruk S. V., Voloshin A. V., Balagan-skii V. V. Morfologiya getita i pervye dannye po mineralogii kory vyvetrivaniya – zheleznoi shlyapy, Serpovidnyi khrebet, Keivy, Kol'skii poluostrov [Goethite morphology and the first data on the mineralogy of the weathering crust – iron hat, Crescentiform Ridge, Keivy, Kola Peninsula]. *Mat-ly nauch. sessii, posvyashch. Dnyu rossiiskoi nauki i 55-letiyu KO RMO GI KNTs RAN* [Proceed. Scientific Conf. held to celebrate Russ. Science Day and the 55th anniv. KB RMS GI KSC RAS]. Apatity, 2011. P. 51–57.

Kompanchenko A. A., Voloshin A. V., Sidorov M. Yu. Mineraly zheleza v zone okisleniya kolchedannykh rud Yuzhno-Pechengskoi strukturnoi zony, Kol'skii region: indentifikatsiya metodom ramanovskoi spektroskopii [Iron minerals in the oxidation zone of pyrite ores in the South Pechenga structural zone, Kola Region: identification by the Raman spectroscopy method]. *Vestnik MGGU* [Vestnik of MSTU]. 2017. Vol. 20, no. 1/1. P. 95–103.

Kuleshevich L. V. Pedrolampi – zoloto-sul'fidnoe mestorozhdenie v dokembrii Karelii [Pedrolampi – a Precambrian gold-sulphide deposit in Karelia]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2008. Vol. 422, no. 6. P. 1–5.

Kuleshevich L. V., Dmitrieva A. V., Lavrov O. B., Ivanov D. V. El'musskaya zelenokamennaya struktura: evolyutsiya intruzivnogo magmatizma, izmeneniya porod i rudnaya mineralizatsiya, Tsentral'naya Kareliya [Elmus greenstone structure: evolution of intrusive magmatism, rock alterations and ore mineralization, Central Karelia]. *XII Vserossiiskoe petrograficheskoe soveshchanie 15–20 sentyabrya 2015 g.* [The 12th All-Russ. Petrographic Meeting, Sept. 15–20, 2015]. Petrozavodsk, 2015a. P. 441–444.

Kuleshevich L. V., Lavrov O. B. Mestorozhdenie Pedrolampi i zolotorudnye proyavleniya El'musskoi ploshchadi [Pedrolampi deposit and gold occurrences in the Elmus area]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and Mineral Resources of Karelia]. Iss. 10. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. P. 140–158.

Kuleshevich L. V., Lavrov O. B., Dmitrieva A. V. Zoloto-sul'foarsenidnaya mineralizatsiya proyavleniya Talpus, El'musskaya ploshchad', Kareliya [Gold-sul-

phoarsenide mineralization of Talpus occurrence, Elmus area, Karelia]. *XII Vseros. s mezhd. uchastiem Fersmanovskaya nauch. sessiya, posvyashch. 80-letiyu so dnya rozhdeniya akad. RAN F. P. Mitrofanova*, 6–7 aprelya [The 12th All-Russian/Int. Fersman Scientific Session held to celebrate the 80th anniv. of RAS Academician F. P. Mitrofanov, April 6–7]. Apatity, 2015b. P. 130–134.

Kuleshevich L. V., Sen'kin N. N. Rudnaya mineralizatsiya zoloto-getit-gematitovogo proyavleniya Yuzhka, Tsentral'naya Kareliya [Ore mineralization of Yuzhka gold-goethite-hematite occurrence, Central Karelia]. *Rossypi i mestorozhdeniya kor vyvetrivaniya: izucheniye, osvoeniye, ekologiya RKV-2015: XV Mezhdunar. soveshch.* [The 15th Int. Conf. Placers and deposits in weathering crusts: study, development and ecology RKV-2015]. Perm': GNIU, 2015. P. 125–126.

Kuleshevich L. V. Zoloto-sul'foarsenidnaya mineralizatsiya El'musskoi ploshchadi, Kareliya [Gold-sulphoarsenide mineralization in the Elmus area, Karelia]. *Fedorovskaya sessiya 2016: Materialy mezhd. nauch. konf. [Fedorov Session 2016: Proceed. Int. Scientific Conf.]*. St. Petersburg: RMO, 2016. P. 143–145.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw materials base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2005. 280 p.

Oleinik I. L., Kuleshevich L. V., Lavrov O. B., Ivanov D. V. Rudno-formatsionnye tipy i mineral'nye assotsiatsii zolotorudnykh ob'ektov El'musskoi ploshchadi [Ore-facies types and mineral associations of gold ore sequences in the Elmus area]. *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita: Mat-ly mezhd. konf. [Proceed. Int. Conf. Gold of the Fennoscandian Shield]*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 141–145.

Svetov S. A., Svetova A. I., Nazarova T. N., Antropova E. A. Neoarkheiskie pull-apart basseiny Tsentral'no-Karel'skogo terreina: porodnye posledovatel'nosti i litokhimicheskaya kharakteristika [Neoarchean pull-apart basins in the Central Karelian terrane: rock sequences and lithochemical description]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and Mineral Resources of Karelia]. Iss. 8. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. P. 5–17.

Received January 19, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кулешевич Людмила Владимировна

ведущий научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kuleshev@krc.karelia.ru

Олейник Иван Леонидович

главный геолог
ООО «Индустрия», Петрозаводск
эл. почта: OleynikIL@polimetal.ru

CONTRIBUTORS:

Kuleshevich, Lyudmila

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

Oleinik, Ivan

Industria LLC, Petrozavodsk
e-mail: OleynikIL@polimetal.ru