

УДК 553.064.32+553.493.563 (470.22)

НОВЫЕ АСПЕКТЫ МИНЕРАЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ ПИТКЯРАНТСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

В. И. Иващенко, А. И. Голубев

Институт геологии Карельского научного центра РАН

Приведены оригинальные результаты прецизионных минералого-геохимических исследований скарноворудных образований Питкярантского рудного района. Охарактеризованы главные минеральные рудные ассоциации, в том числе 58 впервые обнаруженных здесь минералов (рокезит, ангелаит, павонит, цервеллеит, ялпаит, заварицкит, станноидит и др.), 27 из которых являются первыми находками на территории Карелии. Обосновано важное металлогеническое значение присутствия в питкярантских рудах рокезита (CuInS_2), индийсодержащего (1,0 %) сфалерита, золота самородного, электрума, обширных групп минералов серебра, висмута и теллура. Это и достаточно высокие содержания в рудных скарнах In (до 0,33 %), Ag (до 0,2 %), Au (до 1,1 г/т) и платиноидов (до 0,4 г/т) свидетельствует о металлогенических перспективах данного района на эти металлы. По уровню содержаний индия (~100 г/т) и металлогеническому потенциалу (~2400 т In) Питкярантский рудный район представляется одним из наиболее промышленно перспективных на индий в России. Рассмотрены и обсуждены признаки платиноносности рифейских песчаников района. В сопоставлении с Коростеньским массивом и комплексом Роголанд проведена предварительная прогнозная оценка Салминского анортозит-рапакивигранитного массива на редкоземельное и Ti-P оруденение.

Ключевые слова: докембрий, Фенноскандинавский щит, Карелия, Салминский анортозит-рапакивигранитный массив, Питкярантские месторождения, скарны, апоскарновые грейзены, олово, оловоносные гранаты, золото, серебро, платиноиды, индий, рокезит, индийсодержащий сфалерит, редкоземельные элементы, титан, минералогия, металлогения.

V. I. Ivashchenko, A. I. Golubev. NEW METALLOGENIC ASPECTS OF SKARNS FROM THE PITKÄRANTA ORE PROVINCE

The original results of high-precision mineralogical and geochemical studies of the skarn ore samples from the Pitkäranta Ore Province are reported. The main mineral ore assemblages, including 58 minerals revealed there for the first time (roquesite, angelait, pavonite, cervelleite, jalpaite, zavaritskite, stannoidite, etc.), are described. Twenty-seven of them have not been found in Karelia before. Evidence for metallogenic significance of roquesite (CuInS_2), indium-bearing (1.0 %) sphalerite, native gold, electrum and large groups of silver, bismuth and tellurium minerals in Pitkäranta ores is presented. This, together with high concentrations of In (up to 0.33 %), Ag (up to 0.2 %), Au (up 1.1 g/t) and platinoids (up to 0.4 g/t) in the ore skarns, shows that the province has a high metallogenic potential. The Pitkäranta Ore Province is one of the most promising areas in Russia in terms of indium concentration (~100 g/t) and expected indium resources (2400 t). The indications of platinum in the Riphean sandstones of the area are discussed. A comparison with the Korostensky massif and

Rogoland complex is made and the Salmi anorthosite-rapakivi granite massif is preliminarily assessed for rare-earth and Ti-P mineralization.

Key words: Precambrian, Fennoscandian Shield, Karelia, Salmi anorthosite-rapakivi granite massif, Pitkäranta deposits, skarns, apaskarn greysens, tin, tin-bearing garnets, gold, silver, platinoids, indium, roquesite, indium-bearing sphalerite, rare-earth elements, titanium, mineralogy, metallogeny.

Введение

Первые находки медной руды в окрестностях Питкяранты относятся к концу XVIII века, а открытие собственно Питкярантского месторождения и начало его горнорудного освоения к 1810 году [Фурман, 1828]. За 200-летний предшествующий нашим исследованиям период эксплуатации и изучения скарноворудных образований Питкярантского района было добыто: ~500 т олова, ~7000 т меди, ~60 000 т железа, ~11 т серебра, 1 пуд золота [Trüstedt, 1907; Palmunen, 1939] и установлено около 80 рудных минералов – магнетит, халькопирит, сфалерит, пирит, пирротин, касситерит, станнин, стокезит, малайяит, экерит, гюбнерит, шеелит, молибденит, висмут самородный, висмутин, галеновисмутин, висмутотеллуриды, арсенопирит, леллингит, кубанит, галенит, пентландит, марказит, мушкетовит, гематит, тетрадимит, борнит, ковеллин, куприт, тенорит, халькозин, викманит, шенфлессит, англезит, церрусит, лимонит, флюоборит, берборит, золото самородное, гельвин, гентгельвин, бертрандит, берилл, хризоберилл, людвигит, суанит, котоит, гулсит, перцевит, ссайбелиит, гамбергит, валлериит и др. [Trüstedt, 1907; Никольская, Ларин, 1972; Нефедов, 1973; Александров, Тронева, 2009 и др.], которые и определяли их металлогеническую специализацию – Sn, Cu, Zn, Fe, Be.

Скарноворудные месторождения и проявления Питкярантского рудного района размещаются в западном полого погружающемся экзоконтакте Салминского массива рапакиви (рис. 1). В целом для этих месторождений от кровли массива отмечается следующая генерализованная зональность рудоносных метасоматитов: измененные скарны – Fe-Zn-Sn-Cu; апоскарновые грейзены – Sn-Zn-Be-флюорит (\pm Cu); низкотемпературные апоскарновые метасоматиты – Sn, Pb, Zn (\pm Cu). Эта зональность в зависимости от многих факторов в ряде мест нарушается, или совсем не проявлена, но в обобщенном виде для Питкярантского руд-

ного района выдерживается [Никольская, Гордиенко, 1977; Никольская и др., 1977; Иващенко, 1987; Ларин и др., 1991 и др.].

Наиболее перспективны на олово скарны Питкярантской, Уксинской и Люпиковской купольных структур. В зависимости от степени грейзеновых преобразований скарны характеризуются олово-медно-полиметаллическим оруденением с магнетитом (Питкярантский купол – грейзенизация проявлена слабо или совсем не проявлена) и редкометалльно-флюорит-оловянным с полиметаллами и магнетитом (Люпиковский и Уксинский купола – грейзенизация проявлена сильно). Скарноворудные тела образованы по карбонатным породам питкярантской свиты в обрамлении ремобилизованных архейских гнейсогранитных куполов. Оловянное и редкометалльно-оловянное оруденение сконцентрировано преимущественно в скарнах ее нижнего карбонатного горизонта. Скарны верхнего горизонта обычно содержат магнетит-сфалеритовое оруденение и изредка бедное оловянное и редкометалльное. Рудные тела имеют неправильную линзовидную и пластообразную форму, обусловленную особенностями морфологии скарновых залежей. В связи с малой мощностью, неоднородным составом и строением исходных карбонатных пачек выдержанные рудные тела приурочены преимущественно к крутопадающим скарновым залежам. Центральные, наиболее богатые части рудных залежей, располагаются практически на одном гипсометрическом уровне для большинства месторождений района. К этой поверхности приурочены Sn- и Be-Sn-рудные столбы преимущественно субгоризонтальной ориентировки в плоскости карбонатных пластов. Это, вероятно, обусловлено особенностями рудоотложения в местах пересечения крутопадающих рудоподводящих каналов и послонных рудоконтролирующих нарушений в карбонатных горизонтах [Ларин, 2011]. К наиболее значительным оловорудным объектам относятся месторождения – Кителя, Уксинское и Хопунваара [Хазов, 1982; Минерально-сырьевая..., 2005].

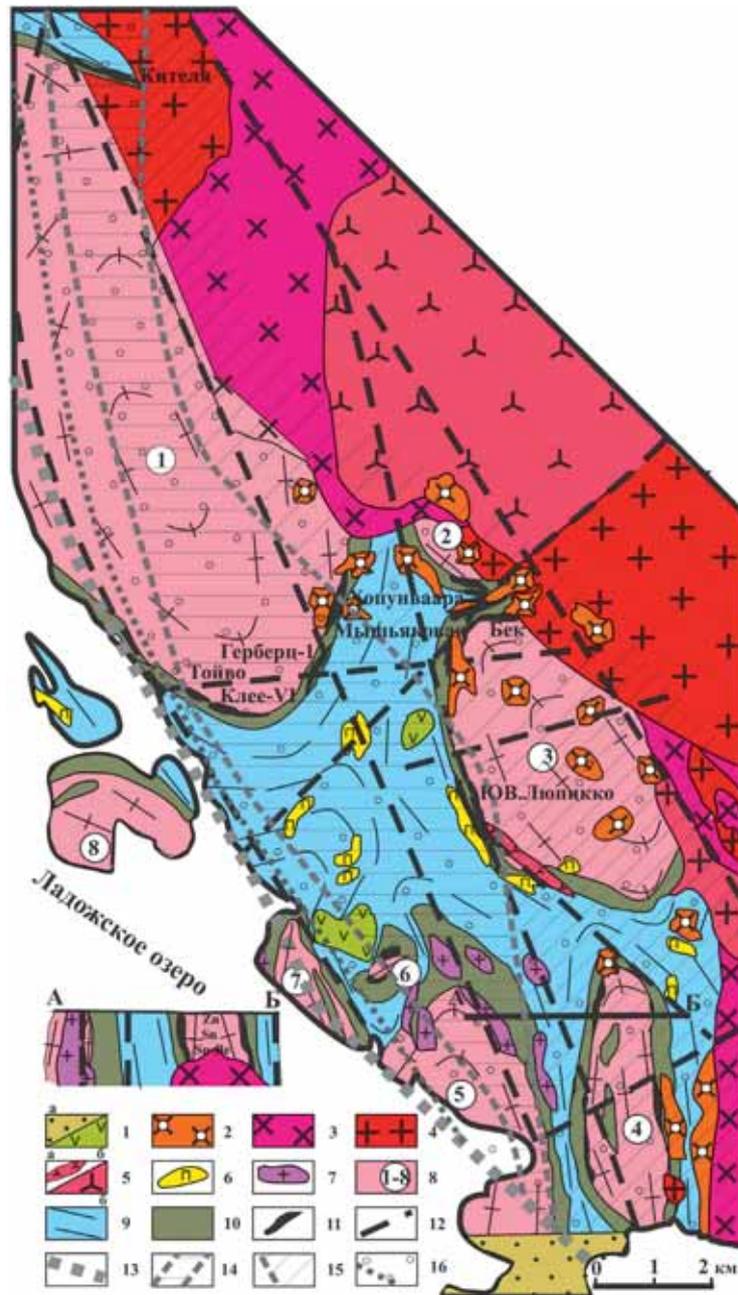


Рис. 1. Схема геологического строения Питкярантского рудного района, по: [Trüstedt, 1907; Никольская и др., 1977; Ларин и др., 1991] с дополнениями:

1 – салминская свита: **а** – песчаники, гравелиты, **б** – базальты, долериты; 2 – лейкограниты и литий-фтористые граниты, в различной степени альбитизированные и грейзенизированные; 3 – мелкозернистые рапакиви-граниты третьей фазы; 4 – среднезернистые, порфировидные биотитовые рапакиви-граниты второй фазы; 5а – гранит-порфиры (дайковая фация гранитов первой фазы), 5б – порфировидные амфибол-биотитовые рапакиви-граниты первой фазы; 6 – керамические пегматиты; 7 – синорогенные плагиограниты, гранодиориты; 8 – ремобилизованные архейские гнейсогранитные купола (1 – Питкярантский, 2 – Винбергский, 3 – Люпиковский, 4 – Уксинский, 5 – Ристиниемский, 6 – Хепосельский, 7 – Юляринский, 8 – Пусунсаарский); 9 – ладожская серия: биотит-кварцевые, кварц-полевошпато-биотитовые, местами амфибол- и графитсодержащие сланцы с прослоями роговиков и скарноидов; 10 – питкярантская свита: амфиболиты, амфиболовые, графитистые и графитсодержащие сланцы, доломитовые и аподоломитовые кальцитовые мраморы и скарны по ним; 11 – скарны, грейзенизированные скарны и низкотемпературные метасоматиты по ним с железо-медь-цинк-оловянным оруденением и редкометалльной минерализацией; 12 – тектонические нарушения; 13 – проекция на современную эрозионную поверхность границы резкого перегиба кровли Салминского массива, с изменением пологого ее погружения на вертикальное (она же оконтуривает зону распространения скарнов с железо-цинк-оловянным оруденением); 14–16 – рудная зональность: 14 – зона амфиболсодержащих метасоматитов (пропилитов) с преимущественно оловянным оруденением, 15 – зона грейзенов (в т. ч. и апоскарновых) с оловянно-редкометалльным и флюоритовым оруденением, 16 – зона кварц-карбонатных, карбонатных, хлоритовых метасоматитов с олово-медно-цинковым оруденением

Новые данные по минералогии и оруденению скарнов Питкярантского рудного района

Проведенные нами на современном научном оборудовании (SEM VEGA II LSN с микроанализатором INCA Energy 350, ИГ КарНЦ РАН; SEM HITACHI S-3660N, у-т г. Турку, Финляндия; Perkin Elmer-SCIEX ELAN 6000, ICP-MS, ALA Canada; ICP-MS, ИГЕМ РАН) минералого-геохимические исследования рудоносных скарнов Питкярантской группы месторождений позволили установить наличие ряда новых для них редких рудных минералов (табл. 1) и повышенных содержаний редких и благородных металлов (табл. 2) [Иващенко и др., 2011], в совокупности раскрывающих новые металлогенические перспективы всего скарноворудного района. Общее число рудных минералов, выявленных в рассматриваемых месторождениях, составило 140, из них 58 было идентифицировано здесь впервые (см. табл. 1).

Минералы золота и серебра насчитывают 17 видов (12 установлены в скарнах Питкяранты впервые). Золото самородное встречается преимущественно в слюдисто-флюоритовых апоскарновых грейзенах и более низкотемпературных флюоритсодержащих метасоматитах. Золотины находятся в ассоциации с никель- и кобальтсодержащим леллингитом и минералами висмута. Встречаются также по спайности в биотите, что впервые было отмечено Е. И. Нефедовым [1973], и в высокожелезистом хлорите (рис. 2, D).

Электрум ($Au_{0,37-0,54}Ag_{0,46-0,63}$) распространен более широко, чем золото самородное. Его микроразмерные (1–70 мкм) выделения установлены в апоскарновых метасоматитах месторождений Кителя, Тойво и Люпикко. Электрум отмечается в виде включений в висмуте самородном, либо в сростаниях с ним, ассоциируя с гесситом (см. рис. 2, A) и алтаитом (см. рис. 2, B, C). Соотношение с последним указывает на их близко одновременное образование, или немного более раннее для электрума.

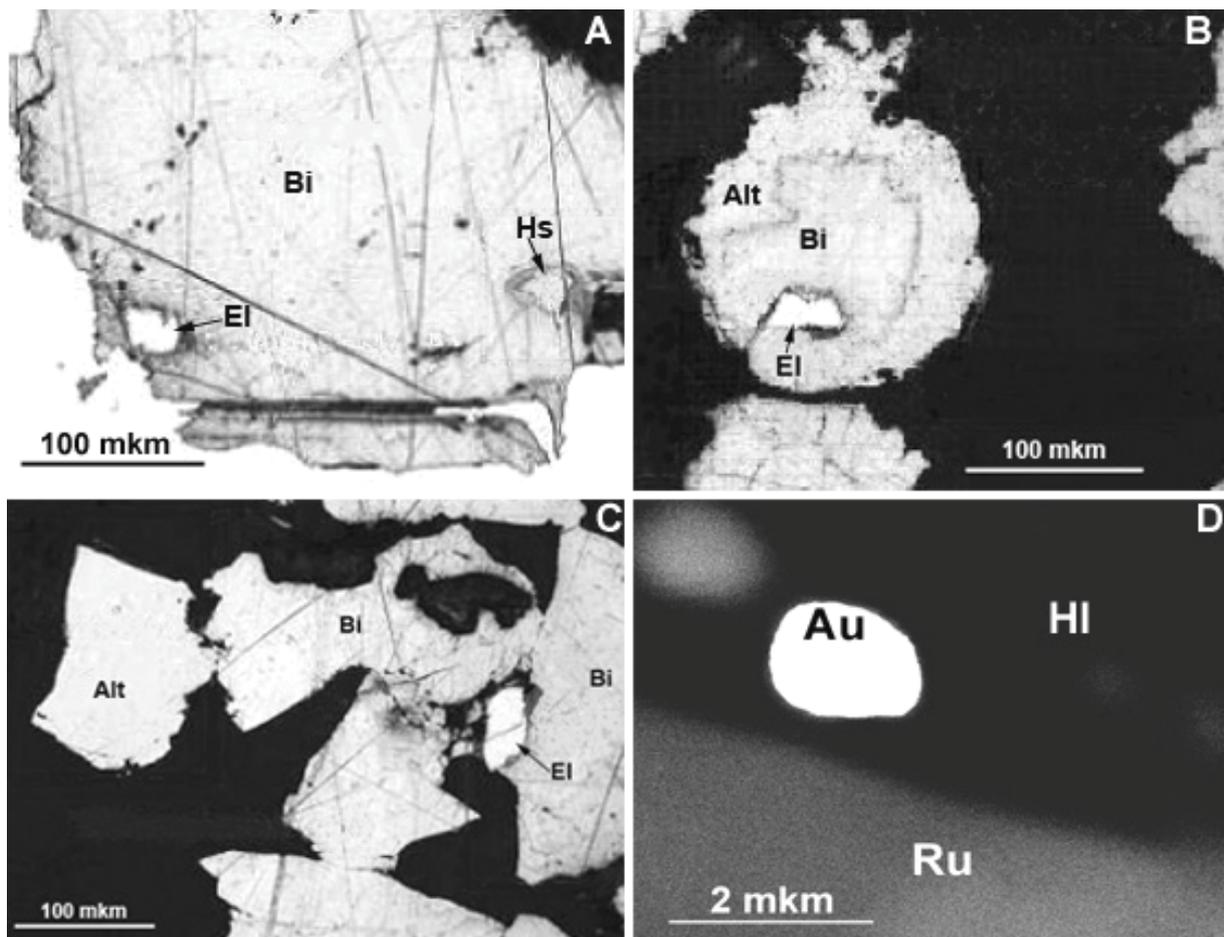


Рис. 2. Благороднометалльная минерализация в рудах Люпикко:

A, B, C – фото в отраженном свете [Герасимова, 2009]; D – фото в отраженных электронах: Au – золото самородное, Alt – алтаит, Bi – висмут самородный, El – электрум, Hs – гессит, Hl – хлорит, Ru – рутил

Таблица 1. Рудные минералы Питкярантской группы месторождений

Самородные металлы и минералы Au, Ag	Минералы Bi, Te	Минералы Cu, Fe, Zn, Pb, Ni	Минералы Sn, W, Mo, Be, Nb	Минералы REE, U, Th	Гипергенные минералы
Золото сам. ^{1,6} Au Серебро сам. ^{1,2,5,6,7} Ag Висмут сам.* Vi	Алексиит ⁵ <i>PbBi₂Te₂S₂</i> Алтаит* ⁶ <i>PbTe</i> Жозеит-B ² <i>Bi₄TeS</i>	Борнит* <i>Cu₃FeS₄</i> <u>Виллемит</u> <i>Zn₂[SiO₄]</i> Галенит <i>PbS</i>	Бавенит ⁶ <i>Ca₄[Be₂Al₂Si₃O₂₆](OH)₂</i> Берилл* ⁶ <i>Al₂[Be₃(Si₆O₁₈)]</i> Берtrandит* ^{4,6} <i>Be₃Si₂O₇(OH)₂</i>	Ксенотим* ⁶ <i>YPO₄</i> Масюйит ⁴ <i>Pb(UO₂)₃O₃(OH)₂*3H₂O</i> Монацит* ⁶ <i>(Ce, La)PO₄</i>	Азурит ⁴ <i>Cu₃(CO₃)₂(OH)</i> Англезит* <i>PbSO₄</i> Англезит-халькоцианит <i>(PbSO₄-CuSO₄)</i> АшOVERИТ ⁴ <i>Zn(OH)₂</i>
Медь сам. ⁶ <i>Cu</i>	Виттихенит* ^{4,5,6} <i>Cu₃BiS₃</i>	Гардистонит <i>Ca₂ZnSi₂O₇</i>	Бетафит ⁶ <i>(Ca, U)₂(Ti, Nb, Ta)₂(O, OH)₇</i> Бехоит ⁶ <i>Be(OH)₂</i> Биттеит ⁶ <i>LiCaAl₄(AlBeSi₂O₁₀)(OH)₂</i> Бромеллит ⁶ <i>BeO</i>	Ортит* ⁶ <i>(Ca, Ce, La, Y)₂(Al, Fe)₃(SiO₄)₃(OH)</i> Паризит * ⁶ <i>Ca(Ce, La)₄(CO₃)₃F₂</i> Рабдофанит ⁶ <i>(Ce, La)PO₄*H₂O</i>	Барит <i>BaSO₄</i> Бисмит * ⁴ <i>Bi₂O₃</i>
Свинец сам. ⁶ <i>Pb</i>	Висмутин* ^{4,5} <i>Bi₂S₃</i>	Гематит <i>Fe₂O₃</i>	Викманит* ⁵ <i>MnSn(OH)₆</i> Вольфрамит ⁶ <i>FeWO₄</i>	Резерфорддин ³ <i>UO₂CO₃</i> Ричетит ⁴ <i>(PbU₄O₁₃*3H₂O</i> Синчезит * ⁶ <i>CaCe(CO₃)₂F</i> Торианит ⁶ <i>ThO₂</i>	Бисмутит * ⁴ <i>(BiO)₂CO₃</i> Гетит <i>FeO(OH)</i> Гидрогетит* <i>aFeOОН*nH₂O</i> Гидроокисел As, Fe Гидросульфат Fe
Электрум ^{1,2,6} <i>AuAg</i>	Галеновисмутин ² <i>PbBi₂S₄</i>	Дигенит ⁴ <i>Cu₉S₅</i>	Гельвин* ⁶ <i>Mn₄(Be₂Si₂O₁₂)S</i> Гюбнерит ⁶ <i>MnWO₄</i>	Уранинит* <i>UO₃</i>	
Акантит * ^{2,7} <i>Ag₂S</i>	Заварицкит ^{4,6} <i>(BiO)F</i>	Идаит ⁵ <i>Cu₃FeS₄</i>	Даналит* ⁶ <i>Fe₂Be₃(SiO₄)₃S</i> Ильменорутил ⁶ <i>(Ti, Nb, Fe³⁺)O₂</i> Иттропироклор ⁶ <i>(Y, Na, Ca, U)₁₋₂(Nb, Ta, Ti)₂(O, OH)₇</i> КАССИТЕРИТ <i>SnO₂</i>	Минералы В Берборит ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ *H₂O</i> Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Бисмутит * ⁴ <i>(BiO)₂CO₃</i> Гетит <i>FeO(OH)</i> Гидрогетит* <i>aFeOОН*nH₂O</i> Гидроокисел As, Fe Гидросульфат Fe
Ангелаит ⁵ <i>Cu₂AgPbBiS₄</i> Аргентовиттит ⁶ <i>Pb, Ag, Bi, (S, Se)₂₇</i> Аркубисит ¹ <i>Ag₆CuBiS₂</i> Волынскит ⁶ <i>AgBiTe₂</i>	Икнолит ³ <i>Bi₄(S, Se)₃</i> Паркерит ⁶ <i>Bi₂Ni₃S₂</i> Пекоит ⁶ <i>PbCuBi₁₈S₁₈</i> Пильзенит ⁶ <i>Bi₄Te₃</i>	Ильмени ⁶ <i>FeTiO₃</i> МАГНЕТИТ <i>Fe₃O₄</i> Манганильменит <i>(Fe, Mn)TiO₃</i> Мушкетовит <i>Fe₂O₄</i> Ковеллин* <i>CuS</i> Кубанит* <i>CuFe₂S₃</i>	Гельвин* ⁶ <i>Mn₄(Be₂Si₂O₁₂)S</i> Гюбнерит ⁶ <i>MnWO₄</i>		
Гессит* ^{1,2,4,5,6} <i>Ag₂Te</i> Курилит ⁶ <i>(Ag, Au)₂(Te, Se, S)</i> Маковиски ⁵ <i>Ag_{1,3}Bi_{5,5}S₉</i>	Раклиджит ⁶ <i>(Pb, Bi)₃Te₄</i> Тетрадимит ² <i>Bi₂Te₂S</i> Хедлейит ⁶ <i>Bi₇Te₃</i>	Пентландит <i>(Fe, Ni)₉S₈</i> ПИРИТ <i>FeS₂</i> Пирит-марказит* <i>FeS₂</i> ПИРРОТИН <i>FeS</i> Рутил* <i>TiO₂</i>	Даналит* ⁶ <i>Fe₂Be₃(SiO₄)₃S</i> Ильменорутил ⁶ <i>(Ti, Nb, Fe³⁺)O₂</i> Иттропироклор ⁶ <i>(Y, Na, Ca, U)₁₋₂(Nb, Ta, Ti)₂(O, OH)₇</i> КАССИТЕРИТ <i>SnO₂</i>	Минералы В Берборит ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ *H₂O</i> Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Гидросульфат Pb, Cu Гидроцинкит ⁴ <i>Zn₂(CO₃)₂(OH)₆</i> Каннонит ⁶ <i>Bi₂O(OH)₂SO₄</i>
Матильдит ² <i>AgBiS₂</i>	Эмплектит ⁴ <i>CuBiS₂</i> <i>Bi₂PbTe</i>	ПИРИТ <i>FeS₂</i> Пирит-марказит* <i>FeS₂</i> ПИРРОТИН <i>FeS</i> Рутил* <i>TiO₂</i>	Колумбит* ⁶ <i>Fe²⁺Nb₂O₆</i> Малайяит* ¹ <i>CaSnSiO₅</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Карибибит ⁵ <i>Fe₂As₄(O, OH)₉</i> Куприт* ¹ <i>Cu₂O</i>
Науманнит ⁵ <i>Ag₂Se</i>	Эмплектит ⁴ <i>CuBiS₂</i> <i>Bi₂PbTe</i>	Пирит-марказит* <i>FeS₂</i> ПИРРОТИН <i>FeS</i> Рутил* <i>TiO₂</i>	Колумбит* ⁶ <i>Fe²⁺Nb₂O₆</i> Малайяит* ¹ <i>CaSnSiO₅</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Карибибит ⁵ <i>Fe₂As₄(O, OH)₉</i> Куприт* ¹ <i>Cu₂O</i>
Павонит ^{2,4} <i>AgBi₃S₅</i>	Эмплектит ⁴ <i>CuBiS₂</i> <i>Bi₂PbTe</i>	Пирит-марказит* <i>FeS₂</i> ПИРРОТИН <i>FeS</i> Рутил* <i>TiO₂</i>	Колумбит* ⁶ <i>Fe²⁺Nb₂O₆</i> Малайяит* ¹ <i>CaSnSiO₅</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Карибибит ⁵ <i>Fe₂As₄(O, OH)₉</i> Куприт* ¹ <i>Cu₂O</i>
Штютцит ⁶ <i>Ag₅Te₃</i>	Эмплектит ⁴ <i>CuBiS₂</i> <i>Bi₂PbTe</i>	Пирит-марказит* <i>FeS₂</i> ПИРРОТИН <i>FeS</i> Рутил* <i>TiO₂</i>	Колумбит* ⁶ <i>Fe²⁺Nb₂O₆</i> Малайяит* ¹ <i>CaSnSiO₅</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Карибибит ⁵ <i>Fe₂As₄(O, OH)₉</i> Куприт* ¹ <i>Cu₂O</i>
Цервеллеит ¹ <i>Ag₄TeS</i>	Минералы As, In	СФАЛЕРИТ <i>ZnS</i>	Пироклор ⁶ <i>(NaCa)₂Nb₂O₈(OH, F)</i> Станнин* ⁵ <i>Cu₂FeSnS₄</i> Станноидит ^{4,5} <i>Cu₂Fe₂Sn₂S₁₂</i> Стокезит* ¹ <i>CaSnSiO₅*2H₂O</i> Тааффеит ⁶ <i>Mg₃Al₂BeO₁₆</i> Фенакит ⁶ <i>Be₂SiO₄</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Линдквистит ¹ <i>Pb₂Fe₉O₂₈</i> Малахит <i>Cu₂CO₃(OH)₂</i> Платнерит ^{1,2} <i>PbO₂</i> Розазит ⁴ <i>(Cu, Zn)₂CO₃(OH)₂</i> Скородит * ^{3,5} <i>FeAsO₄*2H₂O</i> Смитсонит ⁵ <i>ZnCO₃</i> Тенорит* ² <i>CuO</i>
Ялпаит ^{2,6} <i>Ag₃CuS₂</i>	Арсенопирит ⁵ <i>FeAsS</i> Герсдорфит ⁶ <i>NiAsS</i> Глаукодит <i>(Fe, Co)AsS</i> Кобальтин * ⁶ <i>CoAsS</i> Лёллингит ^{3,5} <i>FeAs₂</i>	Титаномагнетит ⁶ <i>(Fe, Ti)₃O₄</i> Халькозин* <i>Cu₂S</i> ХАЛЬКОПИРИТ <i>CuFeS₂</i>	Пироклор ⁶ <i>(NaCa)₂Nb₂O₈(OH, F)</i> Станнин* ⁵ <i>Cu₂FeSnS₄</i> Станноидит ^{4,5} <i>Cu₂Fe₂Sn₂S₁₂</i> Стокезит* ¹ <i>CaSnSiO₅*2H₂O</i> Тааффеит ⁶ <i>Mg₃Al₂BeO₁₆</i> Фенакит ⁶ <i>Be₂SiO₄</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Линдквистит ¹ <i>Pb₂Fe₉O₂₈</i> Малахит <i>Cu₂CO₃(OH)₂</i> Платнерит ^{1,2} <i>PbO₂</i> Розазит ⁴ <i>(Cu, Zn)₂CO₃(OH)₂</i> Скородит * ^{3,5} <i>FeAsO₄*2H₂O</i> Смитсонит ⁵ <i>ZnCO₃</i> Тенорит* ² <i>CuO</i>
<i>AgCuFeS₃</i> ²	Герсдорфит ⁶ <i>NiAsS</i> Глаукодит <i>(Fe, Co)AsS</i> Кобальтин * ⁶ <i>CoAsS</i> Лёллингит ^{3,5} <i>FeAs₂</i>	Халькозин* <i>Cu₂S</i> ХАЛЬКОПИРИТ <i>CuFeS₂</i>	Станноидит ^{4,5} <i>Cu₂Fe₂Sn₂S₁₂</i> Стокезит* ¹ <i>CaSnSiO₅*2H₂O</i> Тааффеит ⁶ <i>Mg₃Al₂BeO₁₆</i> Фенакит ⁶ <i>Be₂SiO₄</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Линдквистит ¹ <i>Pb₂Fe₉O₂₈</i> Малахит <i>Cu₂CO₃(OH)₂</i> Платнерит ^{1,2} <i>PbO₂</i> Розазит ⁴ <i>(Cu, Zn)₂CO₃(OH)₂</i> Скородит * ^{3,5} <i>FeAsO₄*2H₂O</i> Смитсонит ⁵ <i>ZnCO₃</i> Тенорит* ² <i>CuO</i>
<i>Cu₄Ag₃Fe₂S₇</i> ⁵	Глаукодит <i>(Fe, Co)AsS</i> Кобальтин * ⁶ <i>CoAsS</i> Лёллингит ^{3,5} <i>FeAs₂</i>	ХАЛЬКОПИРИТ <i>CuFeS₂</i>	Хризоберилл* ⁶ <i>BeAl₂O₄</i> Шеелит* ^{3,4,5} <i>CaWO₄</i> Шёнфлисцит* ⁵ <i>MgSn(OH)₆</i> Эвксенит ⁶ <i>Y(Nb, Ti, Ta)₄(O, OH)₆</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Линдквистит ¹ <i>Pb₂Fe₉O₂₈</i> Малахит <i>Cu₂CO₃(OH)₂</i> Платнерит ^{1,2} <i>PbO₂</i> Розазит ⁴ <i>(Cu, Zn)₂CO₃(OH)₂</i> Скородит * ^{3,5} <i>FeAsO₄*2H₂O</i> Смитсонит ⁵ <i>ZnCO₃</i> Тенорит* ² <i>CuO</i>
<i>Cu₃AgFeS₄</i> ⁵	Кобальтин * ⁶ <i>CoAsS</i> Лёллингит ^{3,5} <i>FeAs₂</i>	ХАЛЬКОПИРИТ <i>CuFeS₂</i>	Хризоберилл* ⁶ <i>BeAl₂O₄</i> Шеелит* ^{3,4,5} <i>CaWO₄</i> Шёнфлисцит* ⁵ <i>MgSn(OH)₆</i> Эвксенит ⁶ <i>Y(Nb, Ti, Ta)₄(O, OH)₆</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Линдквистит ¹ <i>Pb₂Fe₉O₂₈</i> Малахит <i>Cu₂CO₃(OH)₂</i> Платнерит ^{1,2} <i>PbO₂</i> Розазит ⁴ <i>(Cu, Zn)₂CO₃(OH)₂</i> Скородит * ^{3,5} <i>FeAsO₄*2H₂O</i> Смитсонит ⁵ <i>ZnCO₃</i> Тенорит* ² <i>CuO</i>
<i>Ag₂Pb(Te, S, Se)₃</i> ¹	Лёллингит ^{3,5} <i>FeAs₂</i>	ХАЛЬКОПИРИТ <i>CuFeS₂</i>	Хризоберилл* ⁶ <i>BeAl₂O₄</i> Шеелит* ^{3,4,5} <i>CaWO₄</i> Шёнфлисцит* ⁵ <i>MgSn(OH)₆</i> Эвксенит ⁶ <i>Y(Nb, Ti, Ta)₄(O, OH)₆</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Линдквистит ¹ <i>Pb₂Fe₉O₂₈</i> Малахит <i>Cu₂CO₃(OH)₂</i> Платнерит ^{1,2} <i>PbO₂</i> Розазит ⁴ <i>(Cu, Zn)₂CO₃(OH)₂</i> Скородит * ^{3,5} <i>FeAsO₄*2H₂O</i> Смитсонит ⁵ <i>ZnCO₃</i> Тенорит* ² <i>CuO</i>
<i>Ag₃Te₂Bi⁶</i>	Маухерит ⁶ <i>Ni₁₇As₈</i> Никелин ⁶ <i>NiAs</i> Саффлорит ³ <i>(Co, Fe)As₂</i> Рокезит ⁵ <i>CuInS₂</i>	ХАЛЬКОПИРИТ <i>CuFeS₂</i>	Хризоберилл* ⁶ <i>BeAl₂O₄</i> Шеелит* ^{3,4,5} <i>CaWO₄</i> Шёнфлисцит* ⁵ <i>MgSn(OH)₆</i> Эвксенит ⁶ <i>Y(Nb, Ti, Ta)₄(O, OH)₆</i>	Гамбергит* ^{4,6} <i>Be₂(OH, F) BO₃ </i> Гулсит* ^{4,6} <i>Fe₂Mg[BO₃]O₂</i>	Линдквистит ¹ <i>Pb₂Fe₉O₂₈</i> Малахит <i>Cu₂CO₃(OH)₂</i> Платнерит ^{1,2} <i>PbO₂</i> Розазит ⁴ <i>(Cu, Zn)₂CO₃(OH)₂</i> Скородит * ^{3,5} <i>FeAsO₄*2H₂O</i> Смитсонит ⁵ <i>ZnCO₃</i> Тенорит* ² <i>CuO</i>

Примечание. Минералы, набранные прописными буквами – главные; жирным шрифтом – второстепенные; со звездочкой * – редкие; без звездочки – очень редкие; цифра сверху – место нахождения минерала (1 – Кителя, 2 – Тойво, Клее 6, 3 – Герберц, 4 – Хопунваара, 5 – Мышьяковская Шахта, 6 – Люпикко, 7 – Омелянов); подчеркнутые – выявленные в Питкярантском рудном районе впервые; формулы без названия минерала – неидентифицированные минеральные фазы; всего рудных минералов – 140, впервые выявленных в скарноворудных образованиях Питкярантской группы месторождений – 58; неидентифицированных минеральных фаз – 7. В таблице использовались также данные [Saksela, 1951; Нефедов, 1973; Никольская, Гордиенко, 1977; Иващенко, 1987; Александров, Торнева, 2009; Герасимова, 2009; Valkama, 2009; Иващенко, Голубев, 2011; Иващенко и др., 2011; Ларин, 2011 и др.]

Таблица 2. Средние содержания (г/т) рудных элементов в продуктивных скарнах Питкярантской группы месторождений

Элементы	Кителя	Люпикко	Клее VI	Герберц	Мышьяковая	Хопунваара
In	11	84	10	77	270	181
Ag	47	88	49	1	447	22
Cu	23603	52825	18580	173	34975	296
As	66	311	39	1202	1609	22
Bi	3	55	50	14	628	355
Te	1	2	5	0,3	12	5
Sn	1040	346	595	825	648	83
Zn	20702	117625	51900	158320	169314	136800
Cd	102	846	259	731	852	2418
Au, ppb	54	63	193	2	115	15
Rh, ppb	12	5	1	1	5	1
Pd, ppb	168	20	74	16	58	42
Ir, ppb	4,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pt, ppb	45	19	15	22	16	19

Примечание. По данным [Palmunen, 1939] содержания золота и серебра в питкярантских рудах соответственно равны (г/т): шахта Клее-5 (0,2, 20), Клее-6 (0,2, 36), Мария (0,4, 108). Число анализов: Кителя – 3, Люпикко – 4, Клее VI – 2, Герберц – 2, Мышьяковая – 7, Хопунваара – 3. Максимальные содержания серебра и индия в рудах шахты Мышьяковой достигают соответственно 0,2 и 0,3 %.

Минералы серебра представлены как простыми (серебро самородное, гессит, штюцит, акантит, науманнит), так и сложными многокомпонентными соединениями (см. табл. 1, рис. 3). Серебро самородное отмечается в рудах Кителей, Мышьяковой Шахты и Люпикко. Его ксеноморфные зерна размером до 5–10 мкм установлены в пирротине в ассоциации с висмутом самородным, гесситом, пиритом; в алтаите, обрастающем висмут самородный (см. рис. 3), и висмутине (Люпикко).

Гессит наиболее характерен для месторождения Люпикко, где встречается в виде ксеноморфных зерен размером до 50 мкм и микронных пленок на пирротине (см. рис. 3, А), сфалерите (см. рис. 3, В), халькопирите (см. рис. 3, С) и алтаите в хондродите, флюорите, хлорите, ассоциируя с висмутом самородным, галенитом, леллингитом. В виде микровключений он, а местами и штюцит, отмечаются в калишпате, геденбергите, серпентине, халькопирите. Более редки субгексагональные выделения (30–40 мкм) гессита в сфалерите и его мелкие зерна по границе сфалерита и халькопирита в ассоциации со станноидитом и борнитом, а также микропрожилковидные обособления (до 40 мкм длиной) во флюорите в ассоциации с галенитом, халькопиритом, ковеллином и совместные срастания с флюоритом в сфалерите (Мышьяковая Шахта). На месторождении Кителя гессит часто встречается совместно с касситеритом, халькопиритом, пиритом и стокезитом (см. рис. 3, С). По составу он варьирует от чистых разновидностей до селенсодержащих и промежуточных фаз изоморфного ряда гессит-науманнит (табл. 3), хотя сам науманнит встречается исключительно редко (Мышьяковая Шахта). Он образует ксеноморфные микронные выделения

в ковеллине в апоскарновых грейзенах с флюоритом и магнетитом (см. рис. 3, I).

Акантит установлен в медно-полиметаллических рудах месторождения Тойво, образуя срастания с борнитом в сфалерите со структурами распада халькопирита. Он также встречается в виде самостоятельных микрокристаллических агрегатов (до 200 мкм) в окварцованных гранатовых скарнах (гранат оловоносен до 3 %) с халькопиритом, борнитом, галенитом (см. рис. 3, G, J).

Ялпаит (Ag_3CuS_2) встречается в рудах месторождений Тойво и Люпикко. Для него характерны агрегаты микросрастаний с халькопиритом (до 200 мкм) по границе последнего с галенитом (см. рис. 3, E, F), что обуславливает невыдержанность его химического состава (рис. 4). В халькопирите отмечаются экссолюционные выделения сфалерита. Здесь же присутствуют касситерит и церуссит.

Ангелаит ($Cu_2AgPbBiS_4$) диагностирован только в леллингит-полиметаллических ассоциациях Мышьяковой Шахты. Он представлен прерывистыми микроаемаками (1–10 мкм) на зернах сфалерита в хондродите и серпентине в ассоциации с ковеллином и висмутом самородным (см. рис. 3, H). Его состав отличается от стехиометрического практически полным отсутствием свинца (см. табл. 3; рис. 4). Здесь же в единичных случаях отмечаются микровыделения минерала, близкого к курилиту $[(Ag,Au)_2(Te,Se,S)]$ (см. табл. 3).

В рудах месторождений Кителя, Тойво, Мышьяковая Шахта и Люпикко установлено также 5 недиагностированных минеральных фаз серебра (см. табл. 1), одна из которых ($AgCuFeS_3$) (см. рис. 3, D) включена в международные минералогические базы данных как неназванный минерал, впервые обнаруженный в Китае [Bingcheng et al., 2004].

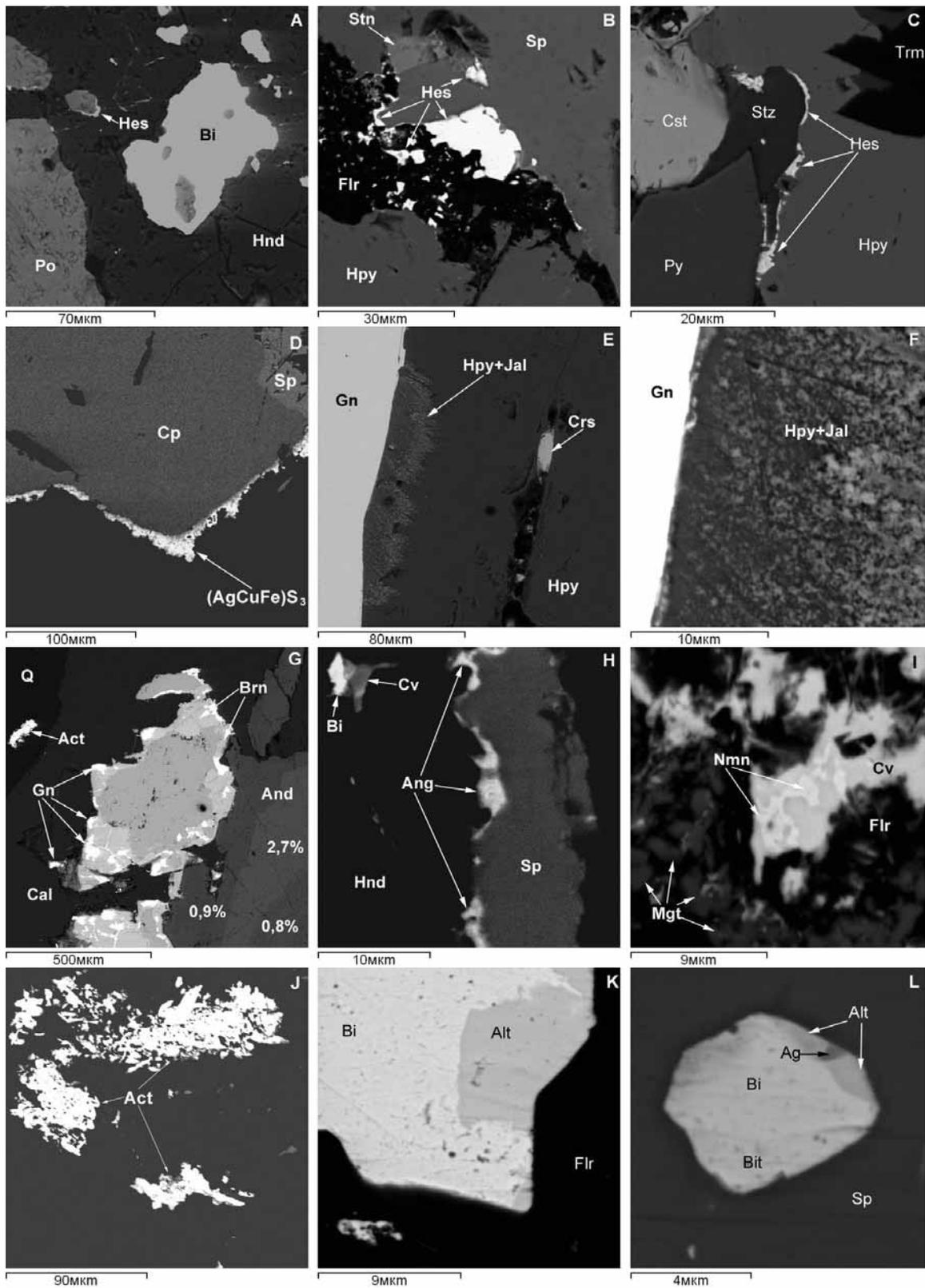


Рис. 3. Минералы серебра и серебряносодержащие минералы в рудах Питкярантских месторождений:

А, К, L – Люпикко; В, Н, I – Мышьяковая Шахта; С – Кителя; D, E, F, G, I – Тойво; Act – акантит, Ag – серебро самородное, Alt – алтаит, And – андрадит, Ang – ангелаит, Bi – висмут самородный, Bit – бисмутии, Brn – борнит, Cal – кальцит, Cv – ковеллин, Crs – церуссит, Cst – касситерит, Flr – флюорит, Gn – галенит, Hes – гессит, Hnd – хондродит, Hpy – халькопирит, Jal – ялаит, Mgt – магнетит, Nmn – науманнит, Q – кварц, Po – пирротин, Sp – сфалерит, Stn – станнин, Stz – стокезит, Trm – тремолит на рис. G – 2,7% и др. – содержание Sn в андрадите. Остальные пояснения в тексте

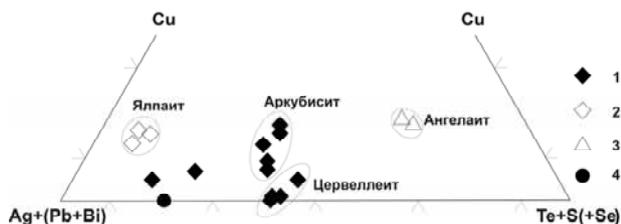


Рис. 4. Состав минералов системы Ag + (Pb + Bi) – Cu – Te + S(+ Se) из руд Питкярантской группы месторождений:

1 – Кителя; 2 – Тойво; 3 – Хопунваара; 4 – Люпикко. 1, 4 – по: [Valkama, 2009]

В большинстве случаев на рудниках Герберц, Хопунваара, Мышьяковая Шахта, Люпикко, Тойво многие рудные минералы, ассоциирующиеся с минералами серебра, характеризуются аномально повышенными содержаниями последнего. В икунолите и висмуте самородном, замещаемом алтаитом (см. рис. 3, К), концентрации серебра достигают 1 %, борните – 1,8 %, бисмите – 7 %, висмутине – 8 %, халькопирите – 9 %, ковеллине – 10 %, идаите – 16 %. По данным [Saksela, 1951] серебро в повышенных количествах отмечается в тетрадимите и галеновисмутине (0,01–1 %) шахты Клее.

Группа минералов висмута и теллура в рудах Питкярантских месторождений насчитывает 15 наименований, из них 8 обнаружены здесь впервые (см. табл. 1, 4). Наиболее распространенными являются висмут самородный и виттихенит.

Висмут самородный отмечается в виде микровключений в леллингите (Мышьяковая Шахта, Люпикко), сфалерите (см. рис. 3, 5, В), со-

вместных сростаний с висмутином, икунолитом (см. рис. 5, С) в сфалерите (Герберц), с бисмитом, сфалеритом, флюоритом в хондродите (Люпикко). Для него характерно также выделение на фронте замещения леллингита арсениопиритом (см. рис. 5, F).

Виттихенит образует микропрожилки совместно с флюоритом в серпентине; обрастает сфалерит, ассоциируя с леллингитом, висмутом самородным, развивается по борниту, слагает сростки с самородным висмутом во флюорите (Мышьяковая Шахта). В сфалерите часто встречается в виде изометричных выделений (см. рис. 5, В) совместно с флюоритом, гетитом, бисмитом и гесситом (Хопунваара). Состав виттихенита близок к стехиометрическому (см. табл. 4), иногда отклоняясь от него за счет примесей цинка.

Паркерит ($\text{Bi}_2\text{Ni}_3\text{S}_2$) обнаружен только в частично хлоритизированных геденбергитовых скарнах Люпикко, где он образует изометричные включения (до 30 мкм) в халькопирите (см. рис. 5, А) и характеризуется почти идеальным химическим составом (см. табл. 4).

Другие Bi-Te-Se минералы (лайтакарит, раклиджит, волинскит) встречаются крайне редко и только в микроразмерных выделениях, ввиду чего определить их корректный химический состав представляется исключительно затруднительным (см. табл. 4).

Арсениды в рудах Питкярантской группы месторождений представлены 8 минералами (см. табл. 1), 6 из которых выявлены здесь впервые. Наиболее распространены ранее известные здесь арсениопирит и леллингит.

Таблица 3. Химические составы (мас.%) минералов серебра из скарнов Питкярантского рудного района

Элементы	ЛюZn6-1	XAS1b/14-1	Лю38-3	Кит6-1	ЛjuT/6-1	ЛjuT/7-1	XAS1b/17-1	XAS1a/23-2	TOI/4-1	Ива-4
Ag	56,74	62,28	61,84	59,90	65,85	63,98	73,17	24,41	67,92	60,86
Au										11,59
Te	43,26	37,72	38,16	34,38	23,03	28,46				24,15
Se				2,18	11,12	6,69	26,83			
Cu								20,02	10,44	
Fe									1,83	
Bi								35,09		
S						0,87		20,68	19,80	3,40
Σ	100,00	100,00	100,00	96,46	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00
Формульные коэффициенты										
Ag	5,29	1,98	1,97	1,95	1,97	1,92	2,00	1,49	2,61	1,84
Au										0,19
Te	2,71	1,02	1,03	0,95	0,58	0,72				0,62
Se				0,10	0,45	0,27	1,00			
Cu								2,10	0,68	
Fe									0,14	
Bi								1,12		
S						0,09		4,29	2,57	0,35

Примечание. ЛюZn6-1 – штюцит ($\text{Ag}_{5x}\text{Te}_3$); XAS1b/14-1, Лю38-3, Кит6-1 – гессит (Ag_2Te); ЛjuT/6-1, ЛjuT/7-1 – промежуточные фазы гессит-науманнит; XAS1b/17-1 – науманнит (Ag_2Se); XAS1a/23-2 – ангелайт [$\text{Cu}_2(\text{AgPb})_2\text{BiS}_4$]; TOI/4-1 – ялпайт (Ag_3CuS_2); Ива-4 – курилит [$(\text{Ag,Au})_2(\text{Te,Se,S})$].

Таблица 4. Химические составы (мас.%) минералов Bi, Te и Se из скарнов Питкярантского рудного района

	Гер8-1	Гер8-2	ЛьуТ/24-1	ЛьуZ12-1	ЛьуТ/6-2	XCuZ7-2	XCuZ8-1	ХопА8-1	XAS1a/ 15-1	XAS1b/ 18-2	ЛьуZn/ 14-2	LU1/9-3	LU1/ 15-3
Bi	73,57	80,77	62,18	34,89		40,39	40,45	41,21	35,36	40,93	78,40	82,04	23,72
Te				45,91							21,60	17,96	43,59
Pb	9,18	3,03		19,20	72,65								
Zn							1,62						
Cu						39,33	37,53	38,10	40,18	38,18			
Ni			28,13										
Ag		0,85			5,59								32,69
Te		1,57			3,53								
Se		12,82			13,31								
S	17,25	3,99	9,69		4,92	20,28	20,39	20,69	19,73	20,89			
Σ	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,27	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные коэффициенты													
Bi	1,88	3,90	1,93	1,89		0,94	0,94	0,96	0,84	0,95	0,69	0,74	0,61
Te				4,06							0,31	0,26	1,80
Pb	0,23	0,15		1,05	0,93								
Zn							0,12						
Cu						2,99	2,86	2,92	3,12	2,90			
Ni			3,10										
Ag		0,08			0,14								1,59
Te		0,12			0,07								
Se		1,64			0,45								
S	2,88	1,26	1,96		0,41	3,07	3,08	3,12	3,04	3,15			

Примечание. Гер8-1 – висмутин (Bi_2S_3); Гер8-2 – лайтакарит [$\text{Bi}_4(\text{Se},\text{S})_3$]; ЛьуТ/24-1 – паркерит (Bi_2NiS_2); ЛьуZ12-1 – раклид-жит [$(\text{Bi},\text{Pb})_3\text{Te}_3$]; ЛьуТ/6-2 – клаустогаленит? [$\text{Pb}(\text{Se},\text{S})$]; XCuZ7-2, XCuZ8-1, ХопА8-1, XAS1a/15-1, XAS1b/18-2 – виттихенит (Cu_3BiS_3); ЛьуZn/14-2, LU1/9-3 – хедлейит (Bi_7Te_3); LU1/15-3 – волянскит? (AgBiTe_2).

Леллингит широко развит на рудниках Мышьяковая Шахта, Хопунваара, Герберц, Люпикко. В большинстве своем он представлен довольно крупными (до 1–2 см) субидиоморфными клиновидными кристаллами, часто замещаемыми арсенопиритом (см. рис. 5, D, F). Иногда встречаются и неоднозначные их соотношения (см. рис. 5, E). Для леллингита характерна ассоциация с магнетитом, касситеритом, сфалеритом, халькопиритом (Мышьяковая Шахта), а также висмутом самородным (Хопунваара). Во включениях в нем отмечаются шеелит, серпентин (Герберц) (см. рис. 5, D). В зонах окисления по леллингиту и арсенопириту развивается скородит и другие арсенаты (см. табл. 1). По содержаниям серы и кобальта арсенопирит и леллингит из разных месторождений существенно различаются (рис. 6, 7). Средние содержания S и Co в леллингите составляют: Герберц – 0,89, 5,42 %; Хопунваара – 1,55, 0 %; Мышьяковая Шахта – 1,56, 0,20 %, Люпикко – 0,77, 1,00 %. Аналогичная закономерность характерна и для содержаний Co в арсенопирите: Герберц – 2,81 %, Мышьяковая Шахта – 0,87 %.

Никелин встречается в виде достаточно крупных (до 150 мкм) овоидоподобных зерен в халькопирите и геденбергите (см. рис. 5, G, H, I), замещается кобальтином и герсдорфитом (см. рис. 5, H, I), обрастает каймами галенита и гессита (см. рис. 5, G, I).

Вольфраматы представлены шеелитом, вольфрамитом и гюбнеритом, встречающимися

в рудах Хопунваары, Мышьяковой Шахты, Герберц и Люпикко. Шеелит ассоциирует с оловянно-редкометалльной и оловянно-медно-полиметаллической минерализацией (рис. 8, B, C) и известен здесь еще со второй половины XIX века [Бек, Тейх, 1869]. Он встречается также в апоскарновых метасоматитах Хепосельки и Уксы. Размерность зерен шеелита часто превышает 1 мм (см. рис. 8, B) и более, а содержание трехоксида вольфрама в измененных скарнах достигает 1 %. По составу выделяется несколько разновидностей шеелита отличающихся содержаниями Fe и Mn. По предварительным данным микрозондового анализа в некоторых шеелитах установлены высокие содержания Mo (до 5 %) и Re (до 4,5 %). Однако эти результаты нуждаются в дополнительных прецизионных исследованиях.

К редким, но достаточно широко распространенным минералам олова в скарновых рудах рассматриваемого района относятся викманит, шенфлессит, станноидит, стокезит и др. Минералы ряда викманит-шенфлессит развиваются по касситериту и вблизи него в серпентин-олово-магнетитовых рудах Мышьяковой Шахты и Хопунваары (см. рис. 8, D). Станнин и станноидит встречаются преимущественно в структурах распада халькопирита (см. рис. 8, E). Стокезит в значительных количествах отмечается в касситерит-сульфидных рудах месторождения Китля (см. рис. 8, F).

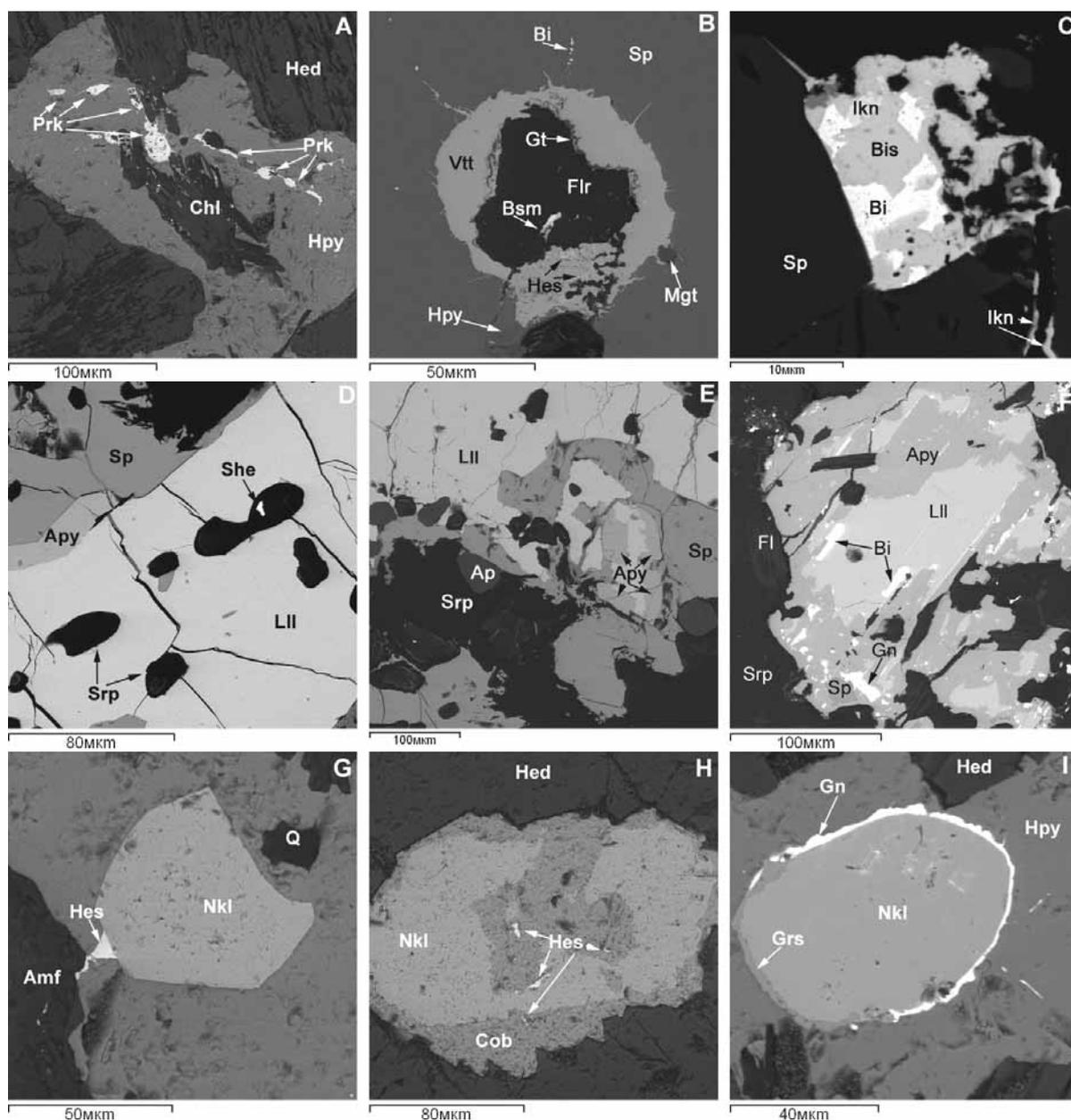


Рис. 5. Минералы висмута, никеля и мышьяка в рудах Питкярнтских месторождений: А, G, H, I – Люпикко; В, F – Хопунваара; С, D, E – Герберц:

Amf – амфибол, Ap – апатит, Apy – арсенипит, Bi – висмут самородный, Bis – висмутин, Bsm – бисмит, Chl – хлорит, Cob – кобальтин, Fl – флогопит, Flr – флюорит, Gn – галенит, Grs – герсдорфит, Gt – гетит, Hes – гессит, Hed – геденберит, Hpy – халькопирит, Ikn – икунолит, LII – леллингит, Mgt – магнетит, Nkl – никелин, Q – кварц, Prk – паркерит, She – шеелит, Sp – сфалерит, Srp – серпентин, Vtt – виттихенит

Характерным для Питкярнтской группы месторождений является также повсеместное развитие зональных оловосодержащих гранатов (см. рис. 8, G, H, I), с которыми связана существенная часть запасов олова в районе, что отмечалось ранее многими исследователями [Хазов, 1973 и др.].

Е. И. Нефедовым [1973] и работами последних лет, главным образом, С. М. Александрова и М. Л. Тронева [2009] в скарнах района уста-

новлено наличие большой группы минералов-боратов (см. табл. 1).

В низкотемпературных апоскарновых метасоматитах отмечаются радиоактивные минералы (рис. 9), среди которых такие, как резерфордин и ричетит, выявлены здесь впервые (см. табл. 1). В примыкающих к данным метасоматитам флюорит- и топазсодержащим грейzenам широко развита молибденитовая и редкоземельная минерализация (см. табл. 1).

Главными редкоземельными минералами являются ксенотим и монацит, часто имеющие зональное строение и образующие взаимные сростания (рис. 10). Их размерность достигает 1 мм и более, а содержание до 1 %.

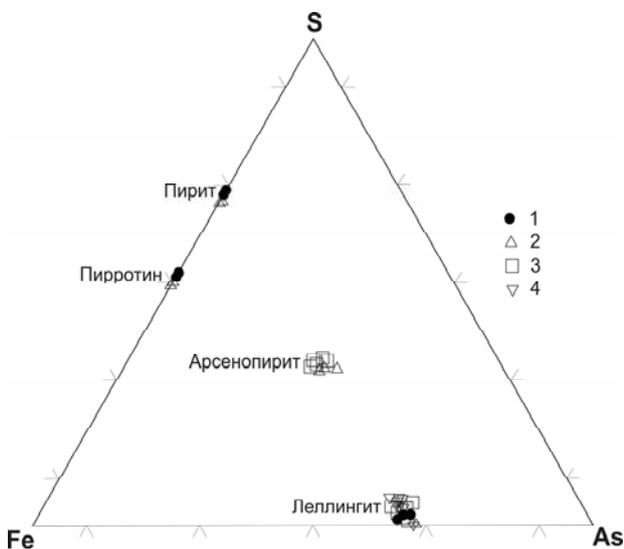


Рис. 6. Состав минералов системы Fe-As-S из руд Питкярантской группы месторождений:

1 – Люпикко; 2 – Хопунваара; 3 – Герберц; 4 – Мышьяковая Шахта

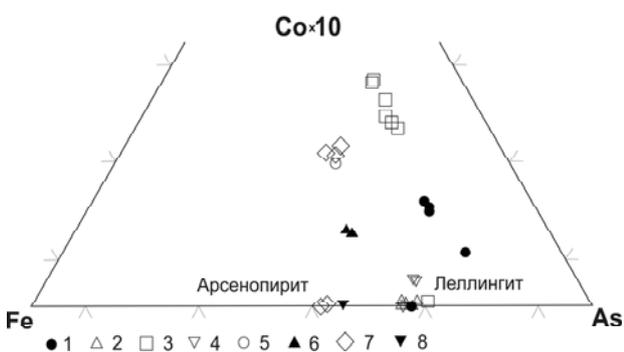


Рис. 7. Диаграмма Fe-Co*10-As для арсенопирита и леллингита из руд Питкярантской группы месторождений:

1–4 – леллингит: 1 – Люпикко; 2 – Хопунваара; 3 – Герберц; 4 – Мышьяковая Шахта; 5–8 – арсенопирит: 5 – Клее-6; 6 – Хопунваара; 7 – Герберц; 8 – Мышьяковая Шахта

Особой новацией в результатах наших минералогических исследований рудоносных скарнов Питкярантского района является открытие здесь собственного минерала индия – рокезита (CuInS_2). Рокезит был впервые диагностирован здесь по нашим образцам из Мышьяковой Шахты М. Валкама [Valkama, 2009; Иващенко и др., 2011]. Его микроразмерные выделения приурочены к контакту гессита и халькопирита, заключенных в сфалерите (рис. 11, А), а время его образования, вероятно, соотносится с кристалли-

зацией таких минералов как аркубисит (см. рис. 11, Б), хедлейит, заварицкит (см. рис. 11, В), жозеит-В, висмут самородный, павонит (см. рис. 11, Г), или сразу после них.

Последняя выделяемая нами группа минералов в рудах Питкярантских месторождений – гипергенные минералы, одна из самых многочисленных. Она включает 27 минералов, из которых 14 определены здесь впервые (см. табл. 1).

Таким образом, с учетом данных многолетних предшествующих исследований, начиная со времени открытия и разработки Питкярантского месторождения (1810 год), число рудных минералов в скарновых месторождениях в целом по району составляет ~140, из них 58 по результатам наших исследований обнаружены здесь впервые (см. табл. 1). Часть из этих минералов – 27 (ангелаит, аргентовиттит, куриллит, маковискит, павонит, цервеллеит, бисмутит, заварицкит, пекоит, рокезит, маухерит, станноидит, масюйит, рабдофанит, резерфордин, ричетит, виллемит, англезит-халькоцианит, ашоверит, гидроцинкит, каннонит, карибибит, линдквистит, платнерит, розазит, ченевихит, шнейдерхонит) являются первыми находками на территории Карелии, а 25 из них и на всем Карело-Кольском регионе.

Обсуждение результатов

Из установленных 58 новых для Питкяранты рудных минералов доминируют минералы серебра (13), висмута, теллура (8) и мышьяка (6). С учетом ранее известных здесь же самородных золота, серебра, висмута, меди, свинца, а также электрума, арсенопирита, леллингита и еще целого ряда висмутидов и теллуридов (см. табл. 1) это вполне соответствует продуктивным минеральным ассоциациям многих промышленных золоторудных месторождений. Более того, с позиций универсальности эволюции гидротермальных золоторудных систем [Кременецкий, Минцер, 1995], основывающейся на том, что процесс рудоотложения, преимущественно, контролируется закономерным изменением кислотности-щелочности рудообразующих растворов и температуры, обуславливающим последовательное формирование продуктивных минеральных ассоциаций главных минеральных типов оруденения золота: золото-пирит-арсенопиритового, золото-полисульфидного, золото-теллуридного, золото-антимонитового и золото-киноварного, широкое проявление Au-Ag-Bi-Te-As минерального ансамбля в Питкярантских месторождениях указывает на их вероятные металлогенические перспективы на золото. Прямыми свидетел-

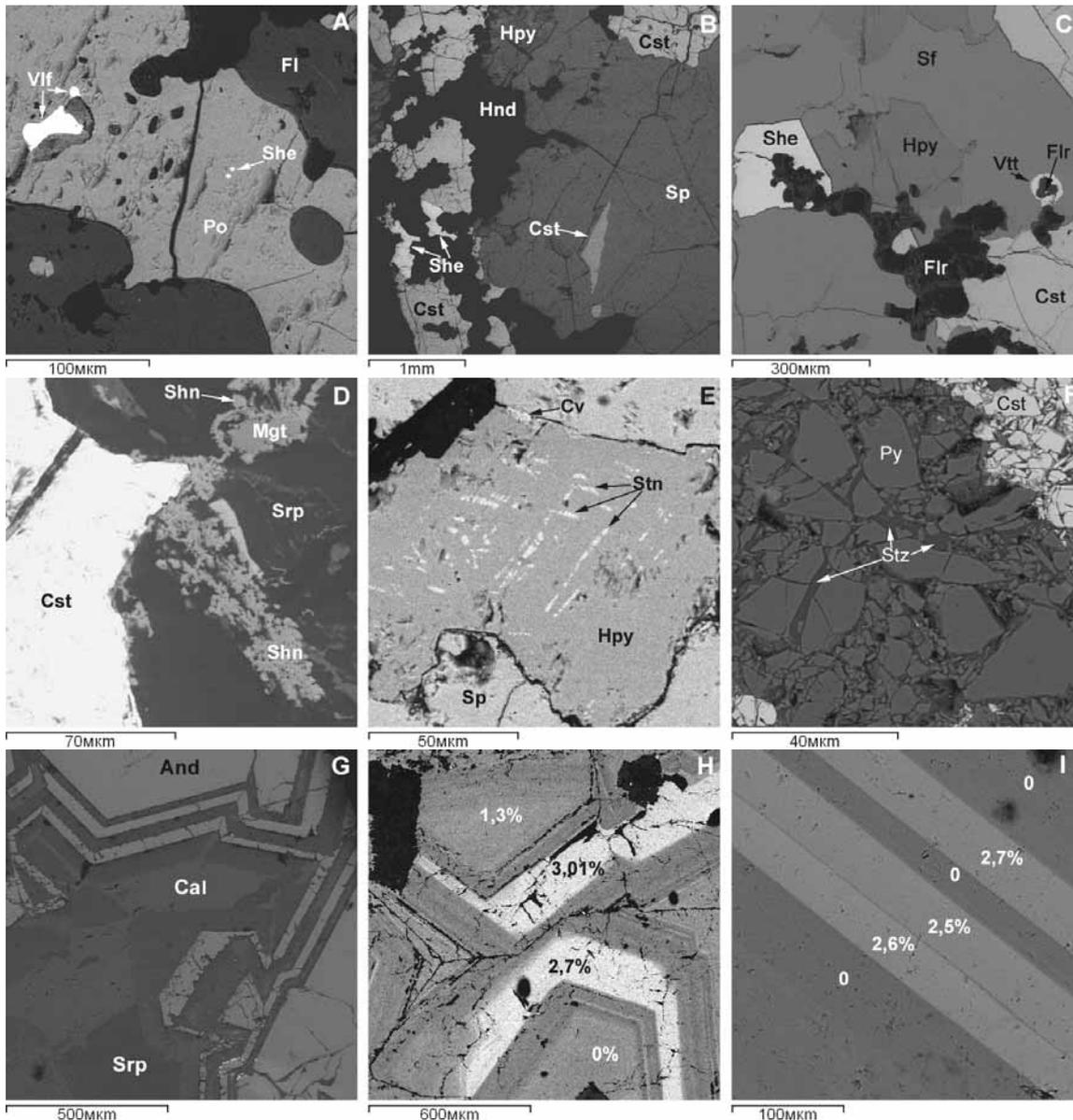


Рис. 8. Минералы олова и вольфрама в рудах Питкяррантских месторождений:

А – Люпикко, В, D, Е – Мышьяковая Шахта, С, G – Хопунваара, F – Кителя, H, I – Тойво. And – андрадит, Cal – кальцит, Cv – ковеллин, Cst – касситерит, Fl – флогопит, Hnd – хондродит, Hpy – халькопирит, Mgt – магнетит, Po – пирротин, Py – пирит, Shn – шенфлессит, Sp – сфалерит, Srp – серпентин, Stn – станин, Stz – стокезит, Vif – вольфрамит, Vtt – виттихенит На рис H, I – 0–3,1 % – содержание олова в андрадитовом гранате

ствами этого являются повышенные содержания благородных металлов и элементов-спутников золота в породах и рудах некоторых месторождений Питкяррантского района, установленные нами (см. табл. 2) и другими исследователями (табл. 5), а также факт добычи за все годы эксплуатации данных месторождений 11 т серебра и 1 пуда золота [Trüstedt, 1907; Palmunen, 1939]. Естественно с современной точки зрения технология извлечения золота и серебра из питкяррантских руд в XIX веке была крайне примитивной, и значительная доля этих благородных металлов, учитывая многообра-

зие и сложность минеральных форм их нахождения в перерабатываемых рудах, вероятно, терялась. Дополнительными признаками существования в процессе формирования рассматриваемых месторождений необходимых условий для образования благороднометалльной минерализации служат данные об эволюции рудно-метасоматических преобразований на них в область температур ниже 300 и 200 °С.

По кобальтиновому термометру (рис. 12) температура образования Co-Ni-Fe сульфоарсенидов варьирует в широких пределах: Люпикко – 420–500 °С, Хопунваара – 300–480 °С, Гер-

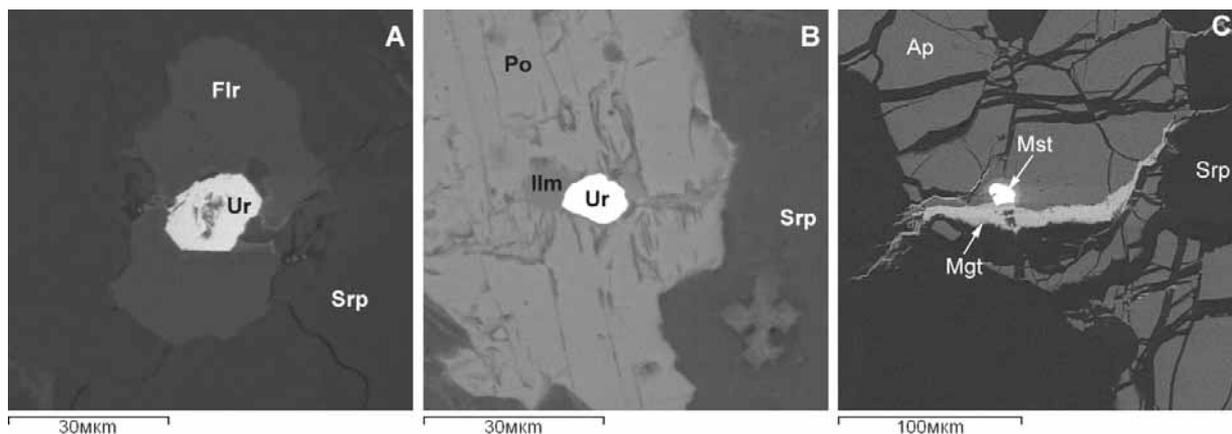


Рис. 9. Урановая минерализация в рудах Питкяртанских месторождений:

А, В – Люпикко, С – Хопунваара. Ap – апатит, Flr – флюорит, Ilm – ильменит, Mgt – магнетит, Mst – масайит, Po – пирротин, Srp – серпентин, Ur – уранинит

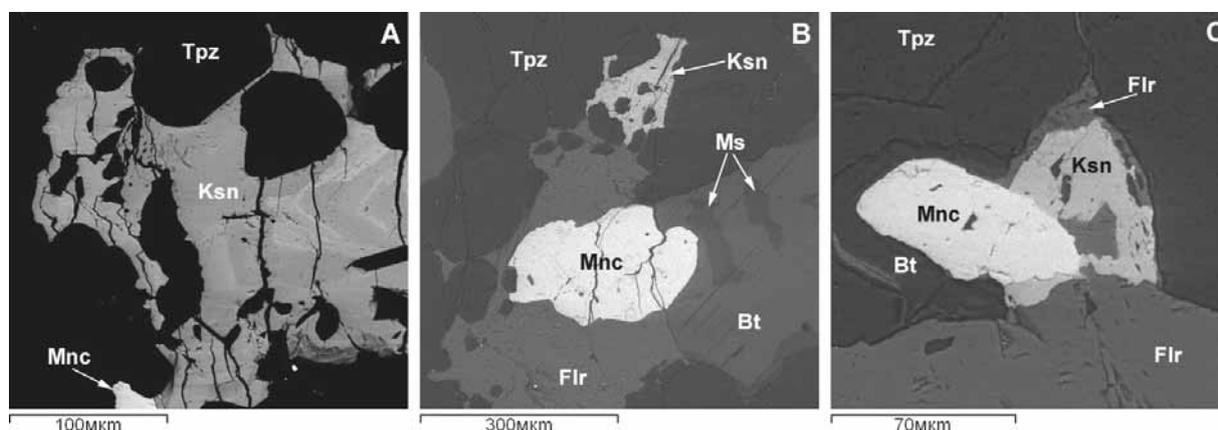


Рис. 10. Редкоземельная минерализация в грейзенах Люпикко:

А – зональный кристалл ксенотима; В – монацит в ассоциации с флюоритом, мусковитом и топазом; С – взаимосрастания монацита и ксенотима. Bt – биотит, Flr – флюорит, Ksn – ксенотим, Mnc – монацит, Ms – мусковит, Tpz – топаз

берц – ~300 °С, а по образцам А. Лайтакари – от < 300° до 500–600 °С. По арсенипиритовому термометру [Kretschmar, Scott, 1976]: Герберц – 405–430 °С, Хопунваара, Мышьяковая Шахта – 300–330 °С; по леллингитовому термометру [Васильев, 1983] для этих же месторождений температуры получаются более высокими – 300–500 °С. Необычно высокой оказалась температура для электрум-сфалеритового парагенезиса по соответствующему термометру [Shikazono, 1985] месторождения Люпикко – 350–380 °С. По хлоритовому термометру [Caritat et al., 1993] температура гидротермально-метасоматических изменений пропилитовой стадии для месторождений Питкяртанты оценивается в 230–290 °С. Причем самые низкие температуры дали высокожелезистые хлориты, близкие к тюрингиту-бавалиту (рис. 13), в ассоциации с которыми наиболее часто встречаются минералы золота и сереб-

ра. Учитывая широкое распространение в исследуемых метасоматитах Au-Ag-Bi-Te-S низкотемпературной минеральной ассоциации (32 минерала), рудообразование происходило, вероятно, и при температурах гораздо ниже, чем установлено по геотермометрам (<< 200°).

Кроме повышенных содержаний золота и серебра в некоторых рудных объектах Питкяртанты отмечаются аномальные концентрации (до 0,4 г/т) платиноидов (см. табл. 2, 5), но собственных минералов Pt и Pd при этом нами здесь выявлено не было. Однако в цементе песчаников базальных горизонтов приозерской свиты рифея, перекрывающих Салминский анортозит-рапакивигранитный комплекс, установлены повышенные содержания (г/т) Pd – до 9,5 и Pt – до 0,5 г/т (табл. 6). В соответствии с объемным содержанием цемента в песчаниках, равным 10–40 %, концентрация МПГ в них может достигать 4 г/т. Методом главных компонент факторного

Таблица 5. Содержание золота, серебра и некоторых редких элементов в рудах Питкярантских месторождений, г/т

Шахты	Au	Ag	In	Bi	Te	Sb	As	W	Be
Кителя (Келиваара)	0,5	132	24 (37)	5	1,3		150	24	107
Тойво	0,4	6	82	1	0,1		25		8
Клара-I/II			105 (0,2 %)						
Клара-III			37 (0,2 %)						
Герберц		1,5	148 (0,5 %)	15	0,6		1200	14	90
Люпикко		166	109 (1 %)	104	2,4		641	814	52
Клее-5, 6	0,3	49	45	50	5	200	200	4	3
Мария	0,4	108				200	200		
As шахта	0,4	1770	605	1440	24		7720	3760	108

Примечание. Таблица составлена с использованием данных [Erämetsä, 1938; Palmunen, 1939; Никольская, Гордиенко, 1977; Valkama, 2009]; для индия значения в скобках (0,2 %) – содержания In в сфалерите; всего 42 анализа. По данным [Левицкий, 2005]: в гранитах рапакиви (22 ан.) Au – 0,29 г/т; в мусковит-биотитовом-грейзене (3 ан.) Au – 0,14 г/т; грезен с сульфидами (1 ан.) Au – 0,97 г/т; везувиан-флюоритовые скарны (2 ан.) Au – 0,175 г/т; магнезиальные скарны с магнетитом (5 ан.) Au – 0,107 г/т, Pd – 0,388 г/т; грейзены по магнетитовым скарнам (3 ан.) Au – 0,134 г/т, Ag – 22,12 г/т, Pd – 0,368 г/т; грейзены по магнетитовым с Cu скарнам (4 ан.) Au – 1,086 г/т, Ag – 11,08 г/т.

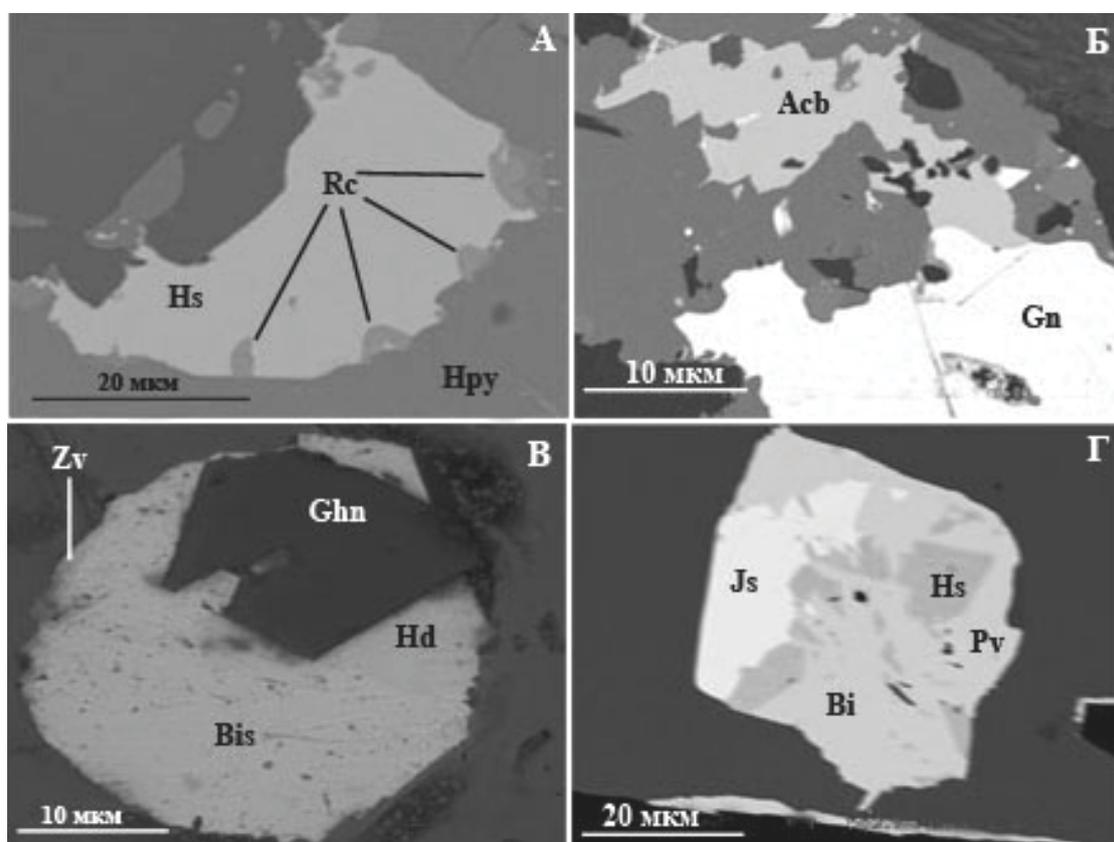


Рис. 11. Редкие рудные минералы в скарнах Питкярантской группы месторождений: А – рокезит – CuInS_2 (Rc) в ассоциации с гесситом – Ag_2Te (Hs) и халькопиритом (Hpy), Хопунваара Шахта Мышьяковская; Б – аркубит – $\text{Ag}_6\text{CuBiS}_4$ (Acb) и галенит, месторождение Кителя; В – ганит (Ghn), хедлейит (Hd) и заварицит – BiFO (Zv) в ассоциации с висмутом самородным (Bis), Хопунваара рудный карьер; Г – висмутинит (Bi), жозеит – $\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$ (Js), гессит (Hs), павонит – AgBi_3S_5 (Pv), шахта Клее-VI. А, Б, Г – по: [Valkama, 2009; Иващенко и др., 2011]

анализа установлено [Альхов, Панова, 2010], что содержания платиноидов определяются первым фактором ($F_{1\ 0,30} = \text{Ta}_{0,93} \text{Ti}_{0,92} \text{Sn}_{0,88} \text{Th}_{0,87} \text{Zr}_{0,86} \text{Ag}_{0,85} \text{Pt}_{0,67} \text{Pd}_{0,63}$), характеризующим состав пород источника сноса, и это подтверждается высокими содержаниями соответствующих аксессуарных минералов (рутил, циркон, ильменит) в песчаниках, типо-

морфных для рапакиви. Согласно результатам исследований А. В. Купцовой с соавторами [2011], полученным изотопным датированием 168 обломочных цирконов, главным источником сноса (на 87 %) для песчаников приозерской свиты являлся Салминский массив анортозит-рапакивигранитной формации. С учетом этого

и установленных в рудах Питкяранты повышенных содержаний палладия в данном рудном районе следует ожидать и нахождения более значительных коренных рудных объектов с платиноидной минерализацией.

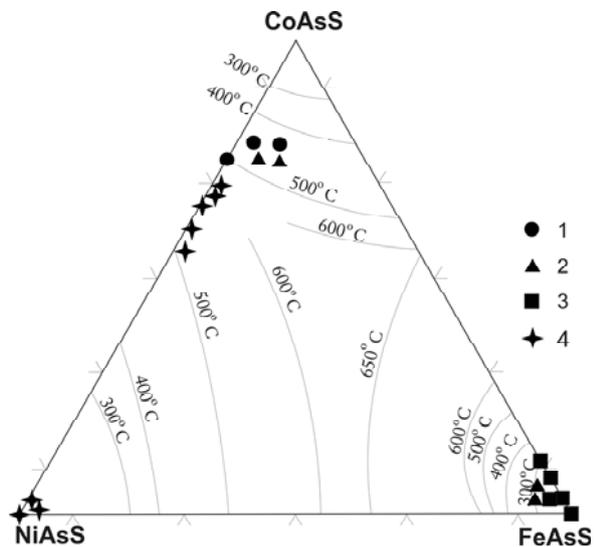


Рис. 12. Состав сульфоарсенидов кобальта, никеля и железа из руд Питкярантской группы месторождений. Температурные кривые – по: [Klemm, 1965]:

1 – Люпикко; 2 – Хопунваара; 3 – Герберц; 4 – образцы A. Laitakari по: [Valkama, 2009]

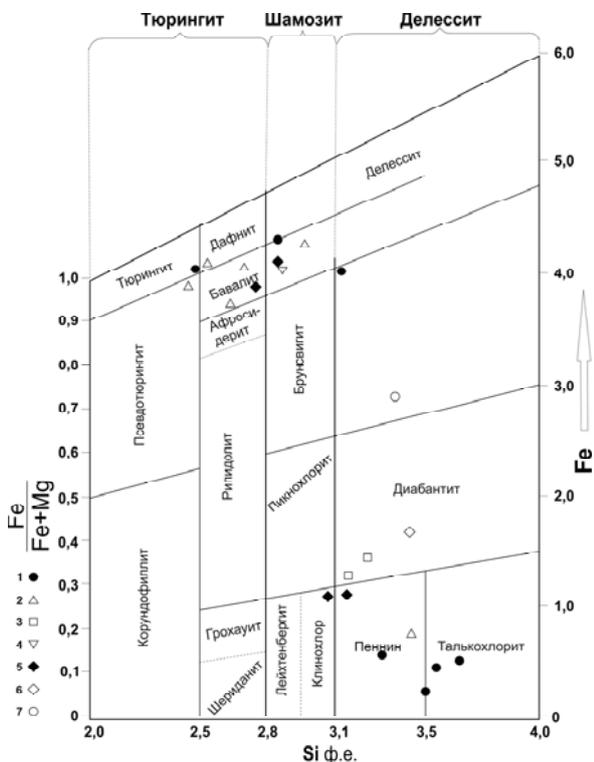


Рис. 13. Состав хлоритов из руд Питкярантской группы месторождений; основа по: [Дир и др., 1966]:

1 – Люпикко; 2 – Хопунваара; 3 – Герберц; 4 – Мышьяковая Шахта; 5 – Кителя; 6 – Тойво; 7 – Укса

Присутствие индия в Питкярантских рудах известно с начала прошлого века [Вернадский, 1910]. Впоследствии повышенное содержание данного металла в них было подтверждено и уточнено (см. табл. 1, 5) и сопровождалось нахождением здесь собственного минерала индия – рокезита (CuInS_2) [Valkama, 2009; Sundblad et al., 2010; Иващенко и др., 2011]. В совокупности эти данные с учетом мировой конъюнктуры на индий представляются нам наиболее важным фактором при рассмотрении новых металлогенических аспектов и перспектив Питкярантского рудного района. В других регионах Фенноскандинавского щита рокезит известен только в нескольких местах – в Финляндии и Швеции [Cook et al., 2011]. На территории России собственно индиевая минерализация распространена также мало. Рокезит встречается в некоторых полиметаллических и оловорудных месторождениях Северного Кавказа, Восточной Якутии, Северных Курил и Дальнего Востока [Качаловская и др., 1973; Губанов и др., 1991; Гавриленко, Погребс, 1992; Недашковский, Никулин, 1994; Кокин и др., 2010].

В большинстве мировых In-содержащих месторождений рокезит – несущественный минерал-носитель индия. В качестве главного минерала в балансе индия в рудах он выступает только в месторождениях, где цинк отсутствует или содержится в незначительном количестве, хотя есть и редкие исключения из этого [Shimizu et al., 2008]. Главным минералом-носителем индия в месторождениях Питкяранты, как и в других регионах мира [Gaspar, 2002; Григорьев, 2011; Cook et al., 2011; Andersen et al., 2013 и др.], является сфалерит (см. табл. 5). Наиболее высокие содержания индия установлены в сфалеритах медно-полиметаллических рудных ассоциациях с признаками грейзеновых преобразований из месторождений Люпикко (1 %) и Мышьяковой Шахты (0,33 %). Между содержаниями индия и меди в данных сфалеритах отмечается положительная корреляционная зависимость (рис. 14), что, вероятно, отражает проявление гетеровалентного изоморфизма по схеме: $(\text{Cu}^{+1} \text{In}^{+3}) \leftrightarrow (\text{Zn}^{+2}, \text{Fe}^{+2})$, предложенной З. Йоханом [Johan, 1988]. Экспериментальные данные [Sombuthawee et al., 1978; Parasyuk et al., 2003] показывают обширную область смесимости между сфалеритом и рокезитом. Однако согласно [Cook et al., 2011], в природных условиях существование ZnS-CuInS_2 твердого раствора ограничено, вероятно, самое большое несколькими мас. % In (и Cu) в сфалерите. Причем одна из фаз распада – рокезит часто содержит микронные эксклюзионные выделения сфалерита.

Таблица 6. Среднее содержание элементов-примесей в цементе песчаников приозерской свиты района месторождения Карку, г/т [Альхов, Панова, 2010]

Элементы	Породы			
	Глины Русской плиты**	Цемент песчаников приозерской свиты		
		неизмененных	слабоизмененных	сильноизмененных
Cu	30	24,89	11,35	37,48
Zn	74	78,96	18,89	93,25
Ga	23	31,76	21,87	23,27
As	12	2,02	0,92	4,04
Y	28	29,42	24,84	35,39
Zr	224	242,13	261,34	303,92
Mo	1,4	0,58	2,33	1,07
Ag*	0,072	1,15	1,30	1,74
Cd	0,09	0,16	0,13	0,47
In	0,22	0,05	0,04	0,03
Sn	1,9	7,57	6,43	8,08
Sb	1,1	0,41	0,40	0,36
Ta*	1,5	3,37	3,66	3,12
W	2,1	2,17	7,33	52,87
Tl	0,4	9,12	1,84	0,98
Pb	18	5,52	13,08	47,98
Pd	n*0,01	2,34	1,85	2,56
Pt	n*0,01	0,19	0,14	0,23
Th	11,5	15,96	37,59	36,79
U	3,8	4,71	9,40	71,11
Th/U	3,0	3,4	4,00	11,50
Количество проб		19	23	8

Примечание. * по: [Скляр, 2001]; ** по: [Ронов, Мигдисов, 1996].

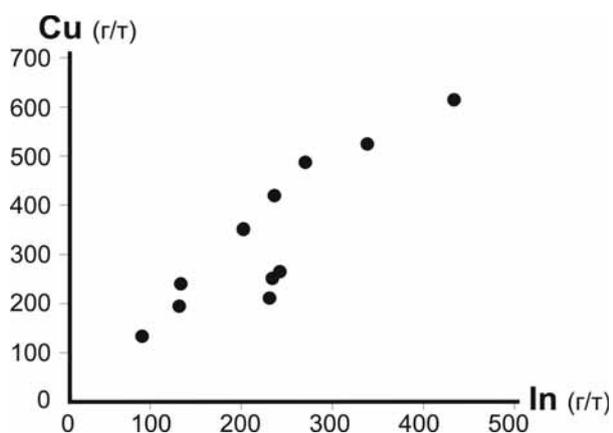


Рис. 14. Диаграмма Cu-In для сфалеритов Питкяррантских скарновых месторождений по: [Valkama, 2009]

В настоящее время в мире известно достаточно много рудных объектов различных генетических типов с повышенными содержаниями и минерализацией индия [Cook et al., 2011 и др.], однако его добыча производится исключительно как побочного продукта из полиметаллических руд VMS- и SEDEX-типа с невысокими концентрациями индия [Rodier, 1990; Alfantazi, Moskaluk, 2003]. В России индий добывается из колчеданно-полиметаллических руд месторождений Урала (Гайское, Узельгинское, Сафьяновское и др.) с содержаниями индия 10–24 г/т [Гаськов и др., 2014], где на Челябинском цинковом заводе в 2012 году получено 7 т индия

[Tolcin, 2012]. Мировое производство индия достигло к 2012 году 1408 т, из них более половины приходится на Китай. Стоимость металлического индия – 600–970 дол/кг, а сверхчистого индия 99,99999 % компании Umicore (Бельгия) – 5000 дол/кг [<http://www.cmmarket.ru/>]. Основной формой индия, используемой в промышленности, является индиево-оловянный оксид (ITO), применяемый, главным образом, для изготовления экранов жидкокристаллических мониторов и телевизоров (70 % от всего производства In) и светодиодов (25 %). Развитие фототальванических технологий и производство солнечных батарей представляет собой новый быстро растущий сектор потребления индия [Tolcin, 2012; <http://www.cmmarket.ru/>]. В настоящее время альтернативы индию нет.

Высокие содержания индия в рудах Питкяррантской группы месторождений, во много раз превышающие таковые в месторождениях России, где добывается данный металл, могут представлять промышленный интерес. Более того, при комплексной разработке месторождений здесь можно сразу получать индиево-оловянный оксид (ITO) – основное соединение индия, используемое в промышленности. Содержание индия в Питкяррантских рудах также значительно выше, чем на оловянно-сульфидных месторождениях Дальнего Востока – 55–70 г/т [Гаськов и др., 2014]. Учитывая прямую корреляционную зависимость между содержа-

ниями индия и цинка в рассматриваемых месторождениях Карелии металлогенический потенциал Питкярантского рудного района на индий при утвержденных запасах и ресурсах цинка в ~2500 тыс. т [Минерально-сырьевая..., 2005] составляют около 2400 т, что в денежном эквиваленте превышает 1 млрд \$.

Салминский массив, определяющий главные металлогенические черты Питкярантского рудного района, по современным данным [Ларин, 2011] относится к анортозит-мангерит-чарнокит-рапакивигранитной ассоциации, в мировых масштабах продуктивной, кроме вышерассмотренных полезных ископаемых, также на Ti-P-Fe и Zr-REE. Ti-Fe-апатитовые и Zr-REE месторождения известны в анортозитах и габбро-сиенитах Коростеньского массива в Украине – Стремгородское, Новомиргородское и Балка Мазурова, Азовское [Гурский и др., 2000]. В Норвегии в анортозитовом плутоне Роголанд в рудных йотунитах разрабатывается одно из крупнейших Ti-Fe месторождений мира Телнес [Sandstad et al., 2012].

Таблица 7. Средний химический состав анортозитов, габброноритов и йотунитов Салминского массива

Оксиды	Анортозиты*	Габбронориты**	Йотуниты*	Йотуниты (Роголанд, Норвегия)***
SiO ₂	52,55	48,47	46,43	49,12
TiO ₂	1,30	3,96	4,51	3,75
Al ₂ O ₃	23,78	15,62	13,94	15,07
Fe ₂ O ₃	0,78	1,82	0,72	
FeO	5,44	11,19	14,43	13,94
MnO	0,08	0,21	0,22	0,18
MgO	0,67	4,83	3,84	4,27
CaO	9,31	9,01	8,90	6,99
Na ₂ O	3,90	2,72	2,73	3,43
K ₂ O	0,91	0,71	1,01	1,18
P ₂ O ₅	0,62	0,80 (1 ан)	2,36	1,11
H ₂ O	0,12		0,18	
П.п.п.	0,88	1,50	1,78	
Mg#	0,10	0,40	0,31	0,33
Кол-во анализов	3 ан	3 ан	6 ан	4 ан

Примечание. * по: [Ларин, 2011]; ** по: [Шинкарев, Анищенко, 1973; Бантова и др., 1975];

*** по: [Duchesne et al., 1988; Robins et al., 1997; Auwera et al., 1998].

В Салминском массиве анортозиты, габбронориты и монзонитоиды слагают крайнюю юго-восточную его часть, где известно Вагозерское Ti-P проявление с содержанием TiO₂ – 4,71 % и прогнозными ресурсами руды кат. P₁+P₂ – 120,0 млн т [Минерально-сырьевая..., 2005]. Йотуниты в массиве также известны [Ларин, 2011], и они практически идентичны аналогичным породам комплекса Роголанд в Норвегии (табл. 7). Соответственно имеющие

ся данные по редкоземельному и Ti-P оруденению Салминского плутона в совокупности с некоторыми чертами его сходства с Коростеньским массивом и комплексом Роголанд, по аналогии с последними определяют положительные металлогенические перспективы Питкярантского рудного района на указанные типы оруденения.

Выводы

1. Число рудных минералов в скарновых месторождениях Питкярантского рудного района составляет ~140, из них 58 обнаружены здесь впервые. Часть из этих минералов – 27 (ангеллаит, аргентовиттит, куриллит, маковискит, павонит, цервеллеит, бисмутит, заварицит, пеккоит, рокезит, маухерит, станноидит, маскюит, рабдофанит, резерфордин, ричетит, виллемит, англезит-халькоцианит, ашоверит, гидроцинкит, каннонит, карибидит, линдквистит, платнерит, розазит, ченевихит, шнейдерхонит) являются первыми находками на территории Карелии, а 25 из них и на всем Карело-Кольском регионе.

2. Наиболее важным в металлогеническом аспекте представляется присутствие в Питкярантских рудах рокезита (CuInS₂), индийсодержащего (1,0 %) сфалерита, золота самородного, электрума, обширных групп минералов серебра, висмута и теллура. Это и достаточно высокие содержания в рудных скарнах индия (до 0,33 %), серебра (до 0,2 %), золота (до 1,1 г/т) и платиноидов (до 0,4 г/т) указывают на определенные металлогенические перспективы Питкярантского скарноворудного района на данные элементы и необходимость его соответствующего доизучения, а также промышленной переоценки известных месторождений.

3. Содержание (~100 г/т) и металлогенический потенциал индия (~2400 т) в месторождениях Питкярантского рудного района выводят его в разряд наиболее перспективных на индий рудных объектов России.

4. В связи с повсеместно отмечающейся на докембрийских щитах взаимосвязью урана, золота и платиноидов в рудогенных процессах особой оценки и в первую очередь заверки требуют установленные признаки платиноносности рифейских песчаников на стратиграфическом уровне формирования уранового месторождения Карку типа несогласия.

5. Согласно данным по редкоземельному и Ti-P оруденению Салминского плутона в совокупности с некоторыми чертами его сходства с Коростеньским массивом и комплексом Роголанд, по аналогии с последними металлогене-

нические перспективы Питкярантского рудного района на указанные типы оруденения представляются положительными.

Литература

Александров С. М., Тронева М. Л. Состав и генезис эндогенных боратов Питкярантского рудного поля, Карелия // Геохимия. 2009. № 9. С. 972–987.

Альхов А. С., Панова Е. Г. Геохимическая характеристика цемента песчаников приозерской свиты, вмещающей урановое месторождение Карку (С. Приладожье) // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2010. Вып. 3. С. 11–17.

Бантова М. А., Левковский Р. З., Шарков В. Е. Геология, вещественный состав и возраст пород салминского комплекса гранитов рапакиви и габбро-анортозитов // Сов. геология. 1975. № 7. С. 74–86.

Бек В., Тейх Н. Волчек и шеелит из русских месторождений // Горный журнал. 1869. Кн. 8. С. 183–193.

Васильев М. В. К вопросу о методах расчета диаграмм состояния // Журн. физ. химии. 1983. Т. 57, вып. 9. С. 2141–2145.

Вернадский В. И. Заметки о распространении химических элементов в земной коре // Известия Императорской Академии Наук, сер. VI. 1910. Т. IV, № 14. С. 1129–1148.

Гавриленко В. В., Погребс Н. А. Индий в рудах месторождения касситерит-кварцевой формации // Зап. ВМО. 1992. № 2. С. 41–47.

Гаськов И. В., Павлова Г. А., Владимиров А. Г., Гвоздев В. И. Индий и другие элементы-примеси в рудах колчеданно-полиметаллических и оловосульфидных месторождений Сибири и Дальнего Востока // Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. С. 156–162.

Герасимова Е. И. Минеральное разнообразие метасоматитов и поздних гидротермальных образований рудных месторождений Питкярантского района (Южная Карелия, Россия) // Минеральное разнообразие – исследование и сохранение. София, 2009. Вып. 4. С. 67–74.

Григорьев Н. А. Распределение индия в верхней части континентальной коры // Ежегодник-2010. Тр. ИГГ УрО РАН. 2011. Вып. 158. С. 100–102.

Губанов А. М., Чвилева О. Е., Ширай Г. А. и др. Новые данные о рокезите (Средняя Азия) // Зап. ВМО. 1991. № 3. С. 40–55.

Гурский Д. С., Войновский А. С., Колосовская В. А. и др. Минералогическая специализация магматических комплексов и эпохи рудообразования Украинского щита // Минер. журн. 2000. Т. 22, № 2/3. С. 5–11.

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

Иващенко В. И. Скарновое оруденение олова и вольфрама южной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1987. 240 с.

Иващенко В. И., Валкама М., Сундблад К., Голубев А. И., Алексеев В. Ю. Новые данные по минералогии и металлогении скарнов Питкярантского рудного района // Доклады РАН. 2011. Т. 440, № 2. С. 229–233.

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

Качаловская В. М., Кукоев В. А., Козлова Е. В. и др. Рокезит из борнитонных руд месторождения Уруп // Исследования в области рудной минералогии. М.: Наука, 1973. С. 209–212.

Кокин А. В., Силаев В. И., Киселева Д. В., Филиппов В. Н. Новый потенциально промышленный сульфидно-индиево-марганцевый тип оруденения // ДАН. 2010. Т. 430, № 3. С. 359–364.

Кременецкий А. А., Минцер Э. Ф. Универсальность эволюции золоторудных систем – ключевой критерий регионального прогноза промышленного оруденения // Отечественная геология. 1995. № 5. С. 19–27.

Купцова А. В., Худолей А. К., Дэвис В., Рейнбирд Р. Х., Ковач В. П., Загорная Н. Ю. и др. Возраст и источники сноса песчаников приозерской и салминской свит рифей в восточном борту Пашско-Ладожского бассейна (южная окраина Балтийского щита) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19, № 2. С. 3–19.

Ларин А. М. Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 2011. 402 с.

Ларин А. М., Амелин Ю. В., Неймарк Л. А. Возраст и генезис комплексных скарновых руд Питкярантского рудного района // Геология рудных месторождений. 1991. № 6. С. 15–33.

Левецкий В. И. Петрология и геохимия метасоматоза при формировании континентальной коры. Новосибирск: ГЕО, 2005. 340 с.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 1. / Под. ред. В. П. Михайлова и В. Н. Аминова. Петрозаводск: Карелия, 2005. 278 с.

Недашковский А. П., Никулин Н. Н. Минералы индия в рудах Правоурмийского месторождения (Дальний Восток России) // Геол. рудных месторождений. 1994. Т. 36, № 3. С. 230–236.

Нефедов Е. И. Минералогия месторождения Питкяранта: металлоносность и минералогия скарноидов юга Карелии и запада Кольского полуострова. Л.: ВСЕГЕИ, 1973. 326 с.

Никольская Ж. Д., Гордиенко Л. И. Петрология и металлогения гранитоидных формаций Карелии. М.: Недра, 1977. 152 с.

Никольская Ж. Д., Ларин А. М. Грейзеновые образования Питкярантского рудного поля // Записки ВМО. 1972. Ч. 101, вып. 5. С. 290–297.

Никольская Ж. Д., Ларин А. М., Кайряк А. И. Оценка перспектив Питкярантского рудного района на основе метасоматической зональности // Разведка и охрана недр. 1977. № 9. С. 17–20.

Ронов А. Б., Мигдисов А. А. Количественные закономерности строения и состава осадочных толщ Восточно-Европейской платформы и Русской плиты и их место в ряду древних платформ мира // Литология и полезные ископаемые. 1996. № 5. С. 451–475.

- Скляров Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В. и др. Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Фурман Г. Минералогическое описание некоторой части Старой и Новой Финляндии // Горный журнал. 1828. Кн. II. С. 3–39.
- Хазов Р. А. Геологические особенности оловянного оруденения Северного Приладожья. Л.: Наука, 1973. 87 с.
- Хазов Р. А. Металлогения Ладожско-Ботнического геоблока Балтийского щита. Л.: Наука, 1982. 190 с.
- Шинкарев Н. Ф., Анищенко О. Н. Новые данные о составе и строении Салминского комплекса рапакиви // Известия АН СССР. Сер. Геол. 1973. № 2. С. 140–145.
- Alfantazi A. M., Moskalyk R. R. Processing of indium: a review // Minerals Eng. 2003. Vol. 16. P. 687–694.
- Andersen J., Stickland R., Rollinson G., Shail R. Granite-related indium mineralisation in SW England // Mineral deposit research for a high-tech world. 12th SGA Biennial Meeting. 2013. Proceedings. Vol. 4. P. 1687–1690.
- Auwers J., Longhi J., Duchesne J. C. A liquid line of descent of the jotunite (hypersthene monzodiorite) suite // Journal of Petrology. 1998. Vol. 39. P. 439–468.
- Bingcheng Z., Peng J., Gang T. Geological characteristics of epithermal silver veins in skarn-type gold-copper deposits // Nonferrous Metals. 2004. No 56 (4). P. 19–20.
- Caritat P., Hutcheon L., Walshe J. L. Chlorite geothermometry: a review // Clays and Clay Minerals. 1993. Vol. 41, No 2. P. 219–239.
- Cook N., Sundblad K., Valkama M. et al. Indium mineralisation in A-type granites in southeastern Finland: Insights into mineralogy and partitioning between coexisting minerals // Chemical Geology. 2011. No 284. P. 62–73.
- Duchesne J. C., Hertogen J. Le magma parental du lopolithe de Bjerkreim Sokndal (Norvege meridionale) // Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. 1988. Vol. 306. P. 45–48.
- Erämetsä O. Über die Verbreitung des Indiums in Finnischen Mineralen und über seine Trennung von anderen Metallen // Suomalaisen tiedeakatemia toimituksia, sarja A. Academie scientiarum Fennicae. 1939. No 154. 91 p.
- Eskola P. Around Pitkäranta // Suomalaisen tiedeakatemia toimituksia, sarja A. Geologica-Geographica. 1951. Vol. 27. 90 p.
- Gaspar O. C. Mineralogy and sulfide mineral chemistry of the Neves Corvo ores, Portugal: insight into their genesis // Canadian Mineralogist. 2002. No 40. P. 611–636.
- Johan Z. Indium and germanium in the structure of sphalerite: an example of coupled substitution with copper // Mineralogy and Petrology. 1988. No 39. P. 211–229.
- Klemm D. D. Synthesen und Analysen in den Dreiecks diagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS₂-CoS₂-NiS₂ // Neues Jahrbuch fuer Mineralogie Abhandlungen. 1965. No 103. P. 205–255.
- Kretschmar U., Scott S. D. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application // Canad. Mineralogist. 1976. Vol. 14. P. 364–386.
- Palmunen M. K. Pitkäranta: vv. 1934–1938 suoritettujen vuoritekniillisten tutkimustenvalossa // Geologinen toimikunta. Geoteknillisiä julkaisuja. 1939. No 44. 154 p.
- Parasyuk O. V., Voronyuk S. V., Gulay L. D., Davidyuk G. Y., Halka V. O. et al. Phase diagram of the CuInS-ZnS system and some physical properties of solid solutions phases // Journal of Alloys and Compounds. 2003. Vol. 348. P. 57–64.
- Robins B., Tumor O., Tysseland M., Garmann L. B. The Bjerkreim-Sokndal Layered Intrusion, Rogaland, S.W. Norway: Evidence from marginal rocks for a jotunite parent magma // Lithos. 1997. No 39. P. 121–133.
- Rodier D. D. An overview of silver and trace metal recovery strategies in the zinc industry. Proceedings, Lead-Zinc'90 // The Minerals, Metals and Materials Soc., Warrendale PA, 1990. P. 57–85.
- Saksela M. Zur mineralogy entstehung der Pitkäranta-erze // Bulletin de la Commission géologique de Finlande. 1951. No 154. P. 182–230.
- Sandstad J. S., Bjerkgerd T., Boyd R. et al. Metallogenic areas in Norway // Geological Survey of Finland, Special Paper. 2012. No 53. P. 35–138.
- Shikazono N. A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid implications from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan // Econ. Geol. 1985. Vol. 80, No 5. P. 1415–1424.
- Shimizu M., Shimizu M., Furuhashi T., Harada A., Cook N. J. Indium mineralization in epithermal Au-Ag-Cu-Mn-Te-Se-Bi-Sn-Mo vein-type deposits of the Kawazu (Rendaiji) mine, Shizuoka Prefecture, Japan / 33rd Intern. Geol. Congr., Oslo, August 6th–14th 2008, Abstract CD-ROM.
- Sombuthawee C., Bonsall S. B., Hummel F. A. Phase equilibria in the systems ZnS-MnS, ZnS-CuInS₂, and MnS-CuInS₂ // Journal of Solid State Chemistry. 1978. No 25. P. 391–399.
- Sundblad K. L., Cook N. J., Nygård R. et al. 100 Years of Indium Discoveries in the Fennoscandian Shield / 13th Quadrennial IAGOD Symposium. Adelaide, Australia, 2010. Abstract CD-ROM.
- Tolcin A. C. Minerals Yearbook 2012. Indium (Advance Release) // U.S. Geological Survey. P. 35.1–35.8.
- Trüstedt O. Die Erzlagerstätten von Pitkäranta am Ladoga-See. Helsingfors, Frenckellska tryckeriaktiebolaget // Bulletin de la commission géologique de Finlande. 1907. No 19. 333 p.
- Valkama M. An ore petrological and geochemical study of the polymetallic skarn ores at Pitkäranta. Geology and mineralogy. Master's Graduate Thesis. University of Turku. Department of Geology. Faculty of Mathematics and Science. 2009. 85 p.

Поступила в редакцию 19.12.2014

References

- Aleksandrov S. M., Troneva M. L. Sostav i genezis endogennykh boratov Pitkärantskogo rudnogo polya, Kareliya [Composition and genesis of endogenous borates from the Pitkäranta ore field, Karelia]. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 2009. No 9. P. 972–987.
- Al'khov A. S., Panova E. G. Geokhimicheskaya kharakteristika tsementa peschanikov priozerskoi svity, vmeshchayushchei uranovoe mestorozhdenie Karku (S. Priladozh'e) [Geochemical characteristic of cement sandstones of Karku uranium deposit (north-eastern shores of Lake Ladoga)]. *Vestnik SPbGU. Ser. 7* [Herald of St. Petersburg State University]. 2010. Iss. 3. P. 11–17.
- Bantova M. A., Levkovskii R. Z., Sharkov V. E. Geologiya, veshchestvennyi sostav i vozrast porod salminskogo kompleksa granitov rapakivi i gabbro-anortozitov [Geology, lithology and age of rocks from the Salmi anorthosite-rapakivi granite complex]. *Sov. Geologiya* [Soviet Geology]. 1975. No 7. P. 74–86.
- Bek V., Teikh N. Volchets i sheelit iz russkikh mestorozhdenii [Thistles and scheelite from Russian deposits]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 1869. Book 8. P. 183–193.
- Vasil'ev M. V. K voprosu o metodakh rascheta diagramm sostoyaniya [On the calculation methods of constitution diagrams]. *Zhurn. fiz. Khimii* [Journal of physical chemistry]. 1983. Vol. 57, iss. 9. P. 2141–2145.
- Vernadskii V. I. Zametki o rasprostranении khimicheskikh elementov v zemnoi kore [Notes on distribution of chemical elements in the earth's crust]. *Izvestiya Imperatorskoi Akademii Nauk, ser. VI* [Proceedings of Imperial Academy of Sciences, series VI]. 1910. Vol. IV, No 14. P. 1129–1148.
- Gavrilenko V. V., Pogrebs N. A. Indii v rudakh mestorozhdeniya kassiterit-kvartsevoi formatsii [Indium in cassiterite-quartz ores]. *Zap. VMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]. 1992. No 2. P. 41–47.
- Gas'kov I. V., Pavlova G. A., Vladimirov A. G., Gvozdev V. I. Indii i drugie elementy-primesi v rudakh kolchedanno-polimetallicheskh i olovosul'fidnykh mestorozhdenii Sibiri i Dal'nego Vostoka [Indium and other impurity elements in ores of the VMS polymetallic and Sn-sulfide deposits of Siberia and the Far East]. *Blagorodnye, redkie i radioaktivnye elementy v rudoobrazuyushchikh sistemakh: materialy Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. Uchastiem* [Precious metals, rare and radioactive elements in the ore-forming system: proceedings of All-Russian scientific conference with international participation]. Novosibirsk: INGG SO RAN, 2014. P. 156–162.
- Gerasimova E. I. Mineral'noe raznoobrazie metasomatitov i pozdnykh gidrotermal'nykh obrazovaniy rudnykh mestorozhdenii Pitkärantskogo raiona (Yuzhnaya Kareliya, Rossiya) [Mineral diversity of the metasomatic rocks and hydrothermal formation of the ore deposits of the Pitkäranta district (South Karelia, Russia)]. *Mineral'noe raznoobrazie – issledovanie i sokhranenie* [Mineral diversity research and preservation]. Sofiya. 2009. Iss. 4. P. 67–74.
- Grigor'ev N. A. Raspredelenie indiya v verkhnei chasti kontinental'noi kory [Indium distribution in the upper continental crust]. *Ezhegodnik-2010. Tr. IGG UrO RAN* [Proceedings of Institute of Geology and Geochemistry UB RAS]. 2011. Iss. 158. P. 100–102.
- Gubanov A. M., Chvileva O. E., Shirai G. A. et al. Hovye dannye o rokezite (Srednyaya Aziya) [New data on roquesite (Central Asia)]. *Zap. VMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]. 1991. No 3. P. 40–55.
- Gurskii D. S., Voinovskii A. S., Kolosovskaya V. A. et al. Mineralogicheskaya spetsializatsiya magmaticheskikh kompleksov i epokhi rudoobrazovaniya Ukrainskogo shchita [Mineralogical specialization of igneous complexes and epochs of ore formation of the Ukrainian Shield]. *Miner. zhurn.* [Mineralogical Journal]. 2000. Vol. 22, No 2/3. P. 5–11.
- Dir U. A., Khaui R. A., Zusman Dzh. Porodoobrazuyushchie mineraly. T. 3. Listovye silikaty [Rock forming minerals. Vol. 3. Phyllosilicates]. Moscow: Mir, 1966. 317 p.
- Ivashchenko V. I. Skarnovoe orudnenie olova i vol'frama yuzhnoi chasti Baltiiskogo shchita [Skarn mineralization of tin and wolfram in the southern part of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1987. 240 p.
- Ivashchenko V. I., Valkama M., Sundblad K., Golubev A. I., Alekseev V. Yu. Novye dannye po mineralogii i metallogenii skarnov Pitkärantskogo rudnogo raiona [New data on the mineralogy and metallogeny of the Pitkäranta skarn ore province]. *Doklady RAN* [Proceedings of RAS]. 2011. Vol. 440, No 2. P. 229–233.
- Ivashchenko V. I., Golubev A. I. Zoloto i platina Karelii: formatsionno-geneticheskie tipy orudneniya i perspektivy [Gold and platinum of Karelia: genetic types of mineralization and prospects]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2011. 368 p.
- Kachalovskaya V. M., Kukoev V. A., Kozlova E. V. et al. Rokezit iz bornitonykh rud mestorozhdeniya Urup [Roquesite in bornite ores of the Urup deposit]. *Issledovaniya v oblasti rudnoi mineralogii* [Studies of ore mineralogy]. Moscow: Nauka, 1973. P. 209–212.
- Kokin A. V., Silaev V. I., Kiseleva D. V., Filippov V. N. Novyi potentsial'no promyshlennyi sul'fidno-indievo-margantsevyi tip orudneniya [New potentially industrial sulfide-indium-manganese ore type]. *DAN* [Proceedings of Academy of Sciences]. 2010. Vol. 430, No 3. P. 359–364.
- Kremenetskii A. A., Mintser E. F. Universal'nost' evolyutsii zolotorudnykh sistem - klyuchevoi kriterii regional'nogo prognoza promyshlennogo orudneniya [Universality of gold systems – a key criterion to the regional forecast of industrial mineralization]. *Otechestvennaya geologiya* [National Geology]. 1995. No 5. P. 19–27.
- Kuptsova A. V., Khudolei A. K., Devis V., Reinbird R. X., Kovach V. P., Zagornaya N. Yu. Vozrast i istochniki snosa peschanikov priozerskoi i salminskoi svit rifleya v vostochnom bortu Pashsko-Ladozhskogo basseina (yuzhnaya okraina Baltiiskogo shchita) [Age and provenances of sandstones from the Riphean Priozersk and Salmi formations in the eastern Pasha-Ladoga basin (southern margin of the Baltic Shield)]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya* [Stratigraphy. Geological correlation]. 2011. Vol. 19, No 2. P. 3–19.

Larin A. M. Granity rapakivi i assotsiiruyushchie porody [Rapakivi granites and related rocks]. St. Petersburg.: Nauka, 2011. 402 p.

Larin A. M., Amelin Yu. V., Neimark L. A. Vozrast i genezis kompleksnykh skarnovykh rud Pitkyarantskogo rudnogo raiona [Age and origin of complex skarn ores of the Pitkäranta ore district]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of ore deposits]. 1991. No 6. P. 15–33.

Levitskii V. I. Petrologiya i geokhimiya metasomatoza pri formirovanii kontinental'noi kory [Petrology and geochemistry of metasomatism in continental crust formation]. Novosibirsk: GEO, 2005. 340 p.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw materials base of the Republic of Karelia]. Book 1. Eds. V. P. Mikhailov, V. N. Aminov. Petrozavodsk: Kareliya, 2005. 278 p.

Nedashkovskii A. P., Nikulin N. N. Mineraly indiya v rudakh Pravourmiiskogo mestorozhdeniya (Dal'nii Vostok Rossii) [Indium minerals in ores of the Pravourmiiskoe deposit (Russian Far East)]. *Geol. rudnykh mestorozhdenii* [Geology of ore deposits]. 1994. Vol. 36, No 3. P. 230–236.

Nefedov E. I. Mineralogiya mestorozhdeniya Pitkyaranta: metallonosnost' i mineralogiya skarnoidov yuga Karelii i zapada Kol'skogo poluoostrova [Mineralogy of Pitkäranta deposit: metal content and mineralogy of skarnoids in the southern Karelia and on the western Kola Peninsula]. Leningrad: VSEGEI, 1973. 326 p.

Nikol'skaya Zh. D., Gordienko L. I. Petrologiya i metallogeniya granitoidnykh formatsii Karelii [Petrology and metallogeny of granitoid formations of Karelia]. Moscow: Nedra, 1977. 152 p.

Nikol'skaya Zh. D., Larin A. M. Greizenovye obrazovaniya Pitkyarantskogo rudnogo polya [Greisen formations of the Pitkäranta ore field]. *Zapiski VMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]. 1972. Part 101, iss. 5. P. 290–297.

Nikol'skaya Zh. D., Larin A. M., Kairyak A. I. Otsenka perspektiv Pitkyarantskogo rudnogo raiona na osnove metasomaticheskoi zonal'nosti [Metasomatic zoning of Pitkäranta ore district: assessment of the prospects]. *Razvedka i okhrana nedr* [Mineral resources exploration and conservation]. 1977. No 9. P. 17–20.

Furman G. Mineralogicheskoe opisaniye nekotoroj chasti Staroi i Novoi Finlyandii [Mineralogical description of a part of old and new Finland]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 1828. Book II. P. 3–39.

Khazov R. A. Geologicheskie osobennosti olovyannogo orudneniya Severnogo Priladozh'ya [Geological features of tin-mineralization in the Northern Ladoga district]. Leningrad: Nauka, 1973. 87 p.

Khazov R. A. Metallogeniya Ladozhsko-Botnicheskogo geobloka Baltiiskogo shchita [Metallogeny of the Ladoga-Bothnian geoblock of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1982. 190 p.

Shinkarev N. F., Anishchenkova O. N. Novye dannye o sostave i stroenii Salminskogo kompleksa rapakivi [New data on composition and structure of the Salmi rapakivi complex]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geol.* [Proceedings of the USSR Academy of Science. Geology Series]. 1973. No 2. P. 140–145.

Alfantazi A. M., Moskalyk R. R. Processing of indium: a review. *Minerals Eng.* 2003. 16. P. 687–694.

Andersen J., Stickland R., Rollinson G., Shail R. Granite-related indium mineralisation in SW England. *Mineral deposit research for a high-tech world. 12th SGA Biennial Meeting. 2013. Proceedings.* Vol. 4. P. 1687–1690.

Auwers J., Longhi J., Duchesne J. C. A liquid line of descent of the jotunite (hypersthene monzodiorite) suite. *Journal of Petrology.* 1998. 39. P. 439–468.

Bingcheng Z., Peng J., Gang T. Geological characteristics of epithermal silver veins in skarn-type gold-copper deposits. *Nonferrous Metals.* 2004. No 56 (4). P. 19–20.

Caritat P., Hutcheon L., Walshe J. L. Chlorite geothermometry: a review. *Clays and Clay Minerals.* 1993. Vol. 41, No 2. P. 219–239.

Cook N., Sundblad K., Valkama M., Nygård R., Ciobanu C. L., Danyushevsky L. Indium mineralisation in A-type granites in southeastern Finland: Insights into mineralogy and partitioning between coexisting minerals. *Chemical Geology.* 2011. No 284. P. 62–73.

Duchesne J. C., Hertogen J. Le magma parental du lopolithe de Bjerkreim Sokndal (Norvege meridionale). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences.* 1988. 306. P. 45–48.

Erämetsä O. Über die Verbreitung des Indiums in Finnischen Mineralen und über seine Trennung von anderen Metallen. *Suomalaisen tiedeakatemia toimituksia*, sarja A. Academie scientiarum Fennicae. 1939. No 154. 91 s.

Eskola P. Around Pitkäranta. *Suomalaisen tiedeakatemia toimituksia*, sarja A. Geologica-Geographica. 1951. 27. 90 s.

Gaspar O. C. Mineralogy and sulfide mineral chemistry of the Neves Corvo ores, Portugal: insight into their genesis. *Canadian Mineralogist.* 2002. No 40. P. 611–636.

Johan Z. Indium and germanium in the structure of sphalerite: an example of coupled substitution with copper. *Mineralogy and Petrology.* 1988. No 39. P. 211–229.

Klemm D. D. Synthesen und Analysen in den Dreiecks diagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS₂-CoS₂-NiS₂. *Neues Jahrbuch fuer Mineralogie Abhandlungen.* 1965. No 103. S. 205–255.

Kretschmar U., Scott S. D. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canad. Mineralogist.* 1976. Vol. 14. P. 364–386.

Palmunen M. K. Pitkäranta: vv. 1934–1938 suoritetujen vuoriteknillisten tutkimustenvälössa. *Geologinen toimikunta. Geoteknillisiä julkaisuja.* 1939. No 44. 154 p.

Parasyuk O. V., Voronyuk S. V., Gulay L. D., Davidiyuk G. Y., Halka V. O. Phase diagram of the CuInS-ZnS system and some physical properties of solid solutions phases. *Journal of Alloys and Compounds.* 2003. 348. P. 57–64.

Robins B., Tumyr O., Tysseland M., Garmann L. B. The Bjerkreim-Sokndal Layered Intrusion, Rogaland, S.W. Norway: Evidence from marginal rocks for a jotunite parent magma. *Lithos.* 1997. No 39. P. 121–133.

Rodier D. D. An overview of silver and trace metal recovery strategies in the zinc industry. Proceedings, Lead-Zinc'90. *The Minerals, Metals and Materials Soc.*, Warrendale PA, 1990. P. 57–85.

Saksela M. Zur mineralogy entstehung der Pitkäranta-erze. *Bulletin de la Commission géologique de Finlande*. 1951. No 154. P. 182–230.

Sandstad J. S., Bjerkgerd T., Boyd R., Ihlen P., Korneliussen A., Nilsson L. P., Often M., Eilu P., Hallberg A. Metallogenic areas in Norway. *Geological Survey of Finland, Special Paper*. 2012. No 53. P. 35–138.

Shikazono N. A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid inclusions from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan. *Econ. Geol.* 1985. Vol. 80, No 5. P. 1415–1424.

Shimizu M., Shimizu M., Furuhashi T., Harada A., Cook N. J. Indium mineralization in epithermal Au–Ag–Cu–Mn–Te–Se–Bi–Sn–Mo vein-type deposits of the Kawazu (Rendaiji) mine, Shizuoka Prefecture, Japan. 33rd Intern. Geol. Congr., Oslo, August 6th–14th 2008, Abstract CD-ROM.

Sombuthawee C., Bonsall S. B., Hummel F. A. Phase equilibria in the systems ZnS–MnS, ZnS–CuInS₂, and MnS–CuInS₂. *Journal of Solid State Chemistry*. 1978. No 25. P. 391–399.

Sundblad K. L., Cook N. J., Nygård R., Valkama M., Penttinen K., Kyyhkynen S., Ivashchenko V. 100 Years of Indium Discoveries in the Fennoscandian Shield. 13th Quadrennial IAGOD Symposium. Adelaide, Australia, 2010. Abstract CD-ROM.

Tolcin A. C. Minerals Yearbook 2012. Indium (Advance Release). *U.S. Geological Survey*. P. 35.1–35.8.

Trüstedt O. Die Erzlagerstätten von Pitkäranta am Ladoga-See. Helsingfors, Frenckellska tryckeriaktiebolaget. *Bulletin de la commission géologique de Finlande*. 1907. No 19. 333 s.

Valkama M. An ore petrological and geochemical study of the polymetallic skarn ores at Pitkäranta. Geology and mineralogy. Master's Graduate Thesis. University of Turku. Department of Geology. Faculty of Mathematics and Science. 2009. 85 p.

Received December 19, 2014

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Иващенко Василий Иванович

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

Голубев Анатолий Иванович

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

CONTRIBUTORS:

Ivashchenko, Vasily

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

Golubev, Anatoly

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