

В. И. Иващенко, А. И. Голубев

НОВЫЕ ТИПЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ КАРЕЛЬСКОГО РЕГИОНА И ИХ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ*

Введение

Золотодобывающая отрасль горнорудной промышленности базируется преимущественно на эксплуатации крупных и суперкрупных месторождений. Особенности их размещения и условия формирования характеризуются в большинстве своем уникальными для каждого месторождения-гиганта системными (эмерджентными) признаками, вследствие чего их прогноз представляется в большинстве случаев крайне затруднительным. Однако полученные в последние годы новые геологические данные, основывающиеся на комплексном изучении крупных и суперкрупных месторождений с использованием современных ГИС-технологий, 3D-визуализации, программ распознавания образов, глубинной томографии, высокоточных методов анализа вещества и др. позволили наметить пути и основы разработки теории их прогноза и оценки (Константинов и др., 2000; Крупные и суперкрупные..., 2004; Laznicka, 1983; Kerrich et al., 2000). Применение и адаптация результатов этих исследований к Карельскому региону, где известно несколько десятков месторождений металлических полезных ископаемых и сотни их проявлений, благороднометаллы среди которых являются одними из самых промышленно перспективных, на первом этапе послужило обоснованием выделения в его пределах новой благороднометалльной провинции России, перспективной, вероятно, на крупные месторождения золота и платиноидов. На последующих стадиях научных исследований в регионе это способствовало открытию новых высокоперспективных типов благороднометалльного оруденения.

Новые типы золоторудных проявлений в протерозое Карелии

Открытие в конце прошлого века в протерозойских структурах зарубежной части Фенноскандинав-

ского щита большого числа золоторудных месторождений (Eilu, 1999; Sundblad, 2003) и среди них крупнейшего в Европе – Суурикуосикко (>110 т Au) в Лапландском палеопротерозойском зеленокаменном поясе (Eilu, Weihed, 2005), относящихся к орогеническому мезотермальному типу, предопределило высокую вероятность потенциальных перспектив и протерозоя Карелии на промышленное золото, до этого преимущественно связывавшихся с архейскими зеленокаменными поясами (Кожевников и др., 1998; Металлогения Карелии, 1999; Минерально-сырьевая..., 2005 и др.). Впоследствии на территории Карелии в результате целенаправленных поисковых и научно-исследовательских работ были выявлены многочисленные рудопроявления и одно кратковременно разрабатывавшееся месторождение золота (Майское) протерозойского возраста (Безруков, 1989; Ахмедов и др., 2001; Иващенко и др., 2002; Минерально-сырьевая...



Рис. 1. Схема размещения золоторудных месторождений и проявлений в Лапландском палеопротерозойском зеленокаменном поясе (по: Pankka, Vanhanen, 1989; Коровкин и др., 2003, с дополнениями)

* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОНЗ РАН № 2 «Фундаментальные проблемы геологии, условия образования и принципы прогноза традиционных и новых типов крупномасштабных месторождений стратегических видов минерального сырья».

2005). На продолжении Лапландского зеленокаменного пояса в Карелии (Pankka, Vanhanen, 1989) (рис. 1) в зоне сочленения Карельского кратона и Беломорского мобильного пояса известно несколько мелких золоторудных объектов (Голубев, Кулешевич, 2001; Минерально-сырьевая..., 2005) и выявлен в последние годы ряд новых рудопоявлений – Шапочка, Кенозерское, Нижневолошовское, Надвиговое (Коровкин и др., 2003; Петров и др., 2007; Шевченко и др., 2007), относящихся к высокоперспективному для докембрия мезотермальному орогеническому типу золоторудных месторождений.

Золоторудные проявления на продолжении Лапландского зеленокаменного пояса

Рудопоявления открыты преимущественно на Ветреном Поясе и вследствие ряда причин, включая и крайне плохую обнаженность, исследованы недостаточно. Наиболее изученным золоторудным объектом является поисковый участок «Шапочка».

В его пределах работами ОАО «ГМК „Норникель“» при участии ФГУП «ВСЕГЕИ» (Шевченко и др., 2007) выявлены протяженные (>1 км) северо-западные зоны (до 30 м мощности) рассланцевания и метасоматических преобразований в силлоподобных ультраосновных интрузивах и вмещающих их вулканитах с тонко рассеянной вкрапленностью самородной меди, повышенными содержаниями свинца, серебра и золота (до 251 г/т в отдельных штуфах и до 5 г/т на интервал 1,0 м). Рудоносные зеленые сланцы, по минеральному составу (хлорит + эпидот + клиноцоизит) отвечающие пропилитам, включают многочисленные кварц-карбонатные и гематит-карбонат-эпидотовые прожилки и линзы с повышенными концентрациями золота. Тонкозернистое (3–5 мкм) высокопробное самородное золото встречается преимущественно в карбонат-эпидотовых агрегатах, ассоциируясь с рассеянной вкрапленностью гематита, борнита, халькозина и уранинита такой же размерности. По состоянию изученности (Шевченко и др., 2007) прогнозные ресурсы золота в апоультрамафитовых метасоматитах уч. Шапочка оцениваются в 28 т и могут быть существенно увеличены при проведении дальнейших поисковых работ.

Золоторудные проявления в Раахе-Ладожской зоне

В Северном Приладожье в области сочленения Карельского кратона (AR₂) и Свекофеннского складчатого пояса (PR₁) на продолжении выделяемой финскими геологами Раахе-Ладожской металлогенической зоны с известными там мезотермальными золото-арсенидными месторождениями (Осиконмяки, Лайвакангас, Пириля и др.) обнаружено несколько перспективных проявлений аналогичного типа – Алатту, Пякюля, Янис (Ивашенко и др., 2002; Артамонова, Духовский, 1989; Степанов и др., 2004), контролируемых малоуглубленным тоналитовым маг-

матизмом и зонами сдвиговых дислокаций. Оруденение золото-теллуридного типа, к которому относится выявленное ИГ КарНЦ РАН совместно с фирмой «Карелприродресурс» проявление Райконкоски (Ivashchenko et al., 2007), ранее в Северном Приладожье и в целом в протерозое Карелии не было известно. Вследствие его парагенетической и пространственной ассоциированности с крупной shear-зоной и мощной толщей черных сланцев, имеющих повышенные, близкие к промышленно значимым, содержания целого ряда элементов (Mo, V, Cu, Zn, Pb, Ag, Au, Pt, Pd и др.), ресурсный потенциал данного золоторудного объекта представляется весьма значительным.

1. Золото-теллуридное проявление Райконкоски

Рудопоявление Райконкоски находится в 2 км северо-западнее одноименного поселка в Суоярском районе Республики Карелия вблизи контакта гранитогайсов архея и вулканогенно-осадочных образований соанлахтинской свиты нижнего протерозоя (рис. 2). Рудопоявление представлено серией кварцевых и карбонат-кварцевых жил в метадолеритовом силле среди вулканогенно-осадочных толщ соанлахтинской свиты PR₁, имеющей на данном участке мощность более 1750 м и подразделяющейся на две подсвиты, в составе которых широкое участие принимают серицит-талыко-хлоритовые, биотит-серицит-хлоритовые углеродистые и высокоуглеродистые сланцы, чередующиеся с пластовыми телами базальтов и долеритов, содержащие линзы и прослои пирит-пирротиновых руд. Черные сланцы с пирит-пирротиновой минерализацией имеют аномальными содержаниями ряда редких, цветных и благородных металлов (Mo, V, Cu, Pb, Zn, Pt, Au, Ag). Отложения соанлахтинской свиты перекрываются высокоглиноземистыми турбидитами ладожской серии калевия, включающими прослои и крупные линзы карбонатных пород.

Рудоносные жилы проявления Райконкоски (общим числом 5–6 в пределах карьера) имеют преимущественно северо-западное и субмеридиональное простирание с крутым падением на юго-запад – запад. Они приурочены к осевым частям зон сдвиговых дислокаций мощностью до 1–1,5 м и видимой протяженностью в плане до 70–100 м, в пределах которых долериты интенсивно рассланцованы и подвержены низкотемпературным метасоматическим преобразованиям (хлоритизация, карбонатизация, окварцевание, турмалинизация и др.), сопровождающимся тонкодисперсной сульфидной минерализацией. Сдвиговые зоны выполнены хлоритовыми, карбонат-хлоритовыми метасоматитами и их кварцосодержащими разновидностями. Рудная минерализация в жилах чрезвычайно разнообразна. Она подразделяется на несколько минеральных ассоциаций: пиритовую, полисульфидную, галенит-висмутотеллуридную с минералами серебра и золота и самороднометалльную с интерметаллическими соединениями. Ведущими среди них на золото и серебро являются две последние ассоциации. В рудах

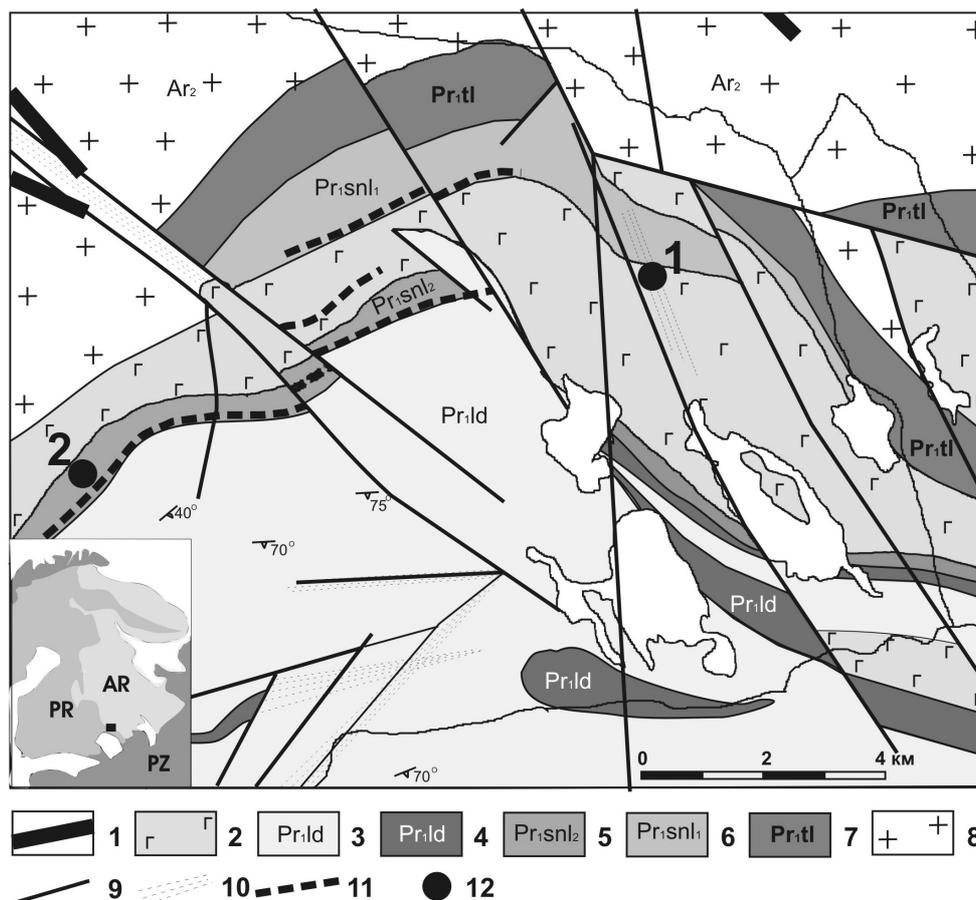


Рис. 2. Схема геологического строения района рудопроявления Райконкоски (по: Артамонова, Духовский, 1989, с дополнениями):

1 – габбродиабазы (дайки); 2 – долериты, габбродолериты (силлы); 3–4 – ладожская серия: 3 – ритмично переслаивающиеся метапесчаники, метакварциты, метагравелиты, плагиоклаз-биотит-кварцевые сланцы и их высокоглиноземистые со ставролитом и андалузитом разновидности; 4 – карбонатные породы; 5–6 – соанлахтинская свита: 5 – верхняя подсвита (углеродсодержащие биотит-серицит-хлоритовые, талько-хлоритовые, амфиболсодержащие сланцы с прослоями пиритовых руд, чередующиеся с метадолеритами); 6 – нижняя подсвита (переслаивание пестроцветных доломитов, мраморов с кварц-биотитовыми, серицит-талько-хлоритовыми сланцами, иногда углеродсодержащими с подчиненными телами метадолеритов); 7 – туломозерская свита: красноцветные доломиты с прослоями кварц-серицит-хлоритовых, карбонат-хлоритовых сланцев, песчаников и гравелитов в основании разреза; 8 – архейский ремобилизованный фундамент (гранитогнейсы, гнейсы, гранитоиды); 9 – тектонические нарушения; 10 – сдвиговые дислокации, зоны расланцевания, смятия, милонитизации; 11 – горизонты рудоносных (Mo, V, полиметаллы, элементы платиновой группы) графитистых сланцев; 12 – рудопроявления: 1 – Райконкоски (Au, Ag, Te, Se, Bi, Cu, Pb); 2 – Полвилампи (Mo, V, полиметаллы)

Т а б л и ц а 1

Содержание рудных элементов в карбонат-кварцевых жилах рудопроявления Райконкоски

№ пробы	Au, г/т	Ag, г/т	Te, г/т	Se, г/т	Bi, г/т	Pb, мас. %	Cu, мас. %	Zn, мас. %	As, г/т	Sb, г/т
1		460			320	>1,0	0,68	0,015		
3		100			220	>1,0	0,032	0,10		
3a	1,84	64								
3b	4,47	67								
R1	0,03	41								
2		>1000			2200	>1,0	>1,0	0,032		
KS0543	0,01	78,6	61	178	189,4	4,42	1,11	0,03	<0,5	2,8
4		>1000			>10000	>1,0	>1,0	>1,0		
5		>1000			10000	>1,0	>1,0	>1,0		
R1a	0,09	230	120							
6	0,03	3,0								
7	0,03	1,0								
KS0556	1,04	88,3	171	140	332,7	0,13	2,56	0,04	4,0	0,3
KS0557B	0,01	2,1			5,2	0,01	0,05		0,9	0,1
KS0557	25,28	23,9	17	49,8	43,0	0,05	1,37	0,02	<5	0,1
KS0558	18,72	91,6	155	219	318,4	0,20	4,85	0,09	0,5	0,1
KS0559		7,7			32,1	0,01	0,02		5,0	0,1

П р и м е ч а н и е . Анализы выполнены в ИГ КарНЦ РАН (атомно-абсорбционный, пробирный) и АСМЕ в Канаде (ICP).

Райконкоски содержания главных рудных минералов перечисленных минеральных ассоциаций местами превышают 10% и соответственно содержания меди и свинца – 5%, цинка, висмута – 1%, селена – 219 г/т, теллура – 171 г/т, сурьмы – 3 г/т, мышьяка – 5 г/т, серебра – >0,1%, золота – 25,28 г/т (табл. 1).

Карбонат-кварцевые жилы состоят из кварца, кальцита, хлорита, альбита, серицита и рудных минералов. Кварц сильно катаклазирован, гранулирован. В его крупных зернах наряду с облачным волнистым погасанием иногда проявлено тонкое полисинтетическое двойникование, вероятно, деформационной природы. Карбонат сосредоточен преимущественно в альбандах жил, слагая зонки, выполненные ксеноморфными зернами размером до 2 мм. Двойники в них часто деформированы (с признаками микросдвигов), пересекаются микропрожилками кварца. Рудная минерализация большей частью приурочена к зоне контакта кварцевой и карбонатной составляющих жил. Хлорит, светло-зеленый листоватый размером до 0,5 мм, образует гломерозернистые скопления. Альбит – в единичных зернах в ассоциации с карбонатом. Серицит – единичные чешуйки в карбонате. Пирит выделялся до карбоната. Все остальные рудные минеральные ассоциации – одновременно с ним и после. Характерны микропрожилки карбоната с халькопиритом, выполнение которых по простиранию неоднократно меняется от монокарбонатного к рудному и комбинированному.

Пирит в карбонат-кварцевых жилах, как и минерализация более поздних ассоциаций и карбоната, характеризуются крайне неравномерным распределением. Макроскопически интервалы по падению жил в несколько метров часто выглядят безрудными или содержащими только пирит. Однако при детальном инструментальном исследовании в них устанавливаются галенит, халькопирит, сфалерит, висмутотеллуриды и самородные металлы – серебро, медь, но содержание их обычно незначительное. Пирит содержит микровключения халькопирита, пирротина, самородных свинца и серебра. Часто подвергается грануляции и рассекается карбонатными микропрожилками.

Полисульфидная минеральная ассоциация (халькопирит, кубанит, борнит, сфалерит, галенит и др.) является доминирующей на рудопроявлении. Она образует вкрапленность, прожилки, гнезда и сплошные массивные агрегаты. Халькопирит отмечается в совместных сростаниях с галенитом, сфалеритом, гесситом и висмутотеллуридами, часто содержит графические выделения кубанита, микровключения сфалерита звездчатой морфологии, галенита и реже пирротина – $(\text{Fe}_{0,75}\text{Co}_{0,15}\text{Ni}_{0,02}\text{Cu}_{0,07})_{0,99}\text{S}_{1,01}$. Рассекается микропрожилками пирита, содержащего Cu (5,73%) и Ni (0,94%). Сфалерит маложелезистый с повышенным содержанием кадмия (2,34–4,35%). Кубанит содержит Ni – 0,74–1,08%, Co – 3,83–5,45%.

Галенит-висмутотеллуридная минеральная ассоциация по видовому разнообразию (>20 минералов) самая обширная на рудопроявлении Райконкоски.

Состав галенита почти без разрывов меняется от собственно галенита ($\text{Se} < 1\%$) до клаусталита ($\text{Se} > 20\%$). Встречаются также фазы промежуточного состава между клаусталитом и алтаитом – $(\text{Pb}_{0,80}\text{Bi}_{0,23})_{1,03}(\text{Se}_{0,73}\text{Te}_{0,24})_{0,97}$, $\text{Pb}_{1,1}(\text{Se}_{0,80}\text{Te}_{0,10})_{0,90}$. Часто в нем отмечаются повышенные содержания Bi (до 6%) и Ag (до 0,5%). Висмутотеллуриды, иногда содержащие примеси селена, свинца, реже серебра и меди (табл. 2), представлены в полном объеме системы Bi-Te (хедлейит, пильзенит, цумоит, теллуrowисмутит). Кроме этого диагностированы фазы, близкие к составам Bi_3Te , Bi_3Te_2 , BiTe_4 , PbBiTe . Для висмутотеллуридов характерны графические сростания с галенитом и гесситом размером не более 1 мм (рис. 3, d). Иногда к этой триаде минералов добавляется вольтскит – $\text{Ag}(\text{Bi}_{0,88}\text{Pb}_{0,22})\text{Te}_{1,48}\text{Se}_{0,39}$, $\text{AgBi}_{1,05}\text{Te}_{1,95}$ или он присутствует вместо галенита. В другой ассоциации вольтскит часто локализуется на границе зерен галенита и халькопирита либо заключен в выделениях галенита. Встречаются также более сложные симплектитовые агрегаты, состоящие из доминирующего теллурида висмута (пильзенит-цумоит), халькопирита, галенита, гессита и гринокита – $(\text{Cd}_{0,94}\text{Te}_{0,03}\text{Fe}_{0,03})_{1,00}(\text{S}_{0,99}\text{Se}_{0,01})_{1,00}$ (рис. 3, e–f), образовавшиеся, вероятно, за счет разложения сульфосоли сложного состава. Гессит помимо графических и симплектитовых сростаний с перечисленными минералами отмечается в ассоциации с петцитом, электрумом и золотом, а также в виде самостоятельных выделений (до 1 мм) и микровключений в пирите и кварце. Вне зависимости от ассоциации состав гессита мало меняется (табл. 2), но иногда он содержит золото (до 3%). Значительно реже встречается другой теллурид серебра – шютцит $\text{Ag}_{4,35}\text{Te}_3$. Петцит ($\text{Au}_{1,18}\text{Ag}_{2,83}\text{Cu}_{0,10}\text{Te}_{1,88}$; $\text{Au}_{1,20}\text{Ag}_{2,88}\text{Te}_{1,92}$; $\text{Au}_{1,06}\text{Ag}_{2,96}\text{Te}_{1,97}$) обычно находится только в присутствии электрума или золота самородного, образуя зонку, отделяющую их от гессита (рис. 3, a–b).

Составы ряда минеральных фаз висмутотеллуридной ассоциации близки к составам раклиджита – $\text{Pb}_{0,91}\text{Bi}_{2,74}(\text{Te}_{2,82}\text{Se}_{0,53})_{3,35}$, жозеита-Б – $\text{Bi}_{2,51}\text{Cd}_{0,05}\text{Te}_{1,44}\text{Se}_{0,37}\text{S}_{2,64}$, теллуристой разновидности лайтакарита – $(\text{Bi}_{2,51}\text{Te}_{1,44}\text{Cd}_{0,05})_{4,00}(\text{Se}_{0,36}\text{S}_{2,64})_{3,00}$, другие даже в грубом приближении не соответствуют ни одному из известных минералов рассматриваемой системы – $\text{PbBi}_{2,11}(\text{Te}_{1,72}\text{Se}_{0,34})$ (?), $\text{AgBi}_{2,36}\text{Te}_{2,91}\text{Se}_{0,79}$ (?).

Самороднометалльная минеральная ассоциация представлена самородными золотом, серебром, электрумом, висмутом, теллуrom, селеном, медью, свинцом, оловом, железом и акантитом. Размер выделений большинства из них, за исключением висмута и теллура, не превышает 20 мкм. Самородное золото преимущественно пластинчатой морфологии встречается в жильном кварце, халькопирите и галените, ассоциируясь с висмутотеллуридами, петцитом и гесситом (рис. 3, a–b). По составу оно варьирует незначительно – Au (64,16–81,79), Ag (18,21–35,84), иногда содержит Hg – 7,76%, Se – 0,94%, Te – 4,99%. Самородное серебро отмечается в виде дендритообразных микровключений в большинстве рудных

минералов и кварце. Акантит – один из самых поздних минералов встречается в виде скелетных микровключений в кварце и карбонате, а также представлен многочисленными идиоморфными кристаллами в карбонатных микрожеодах (рис. 3, с). Самородный висмут образует единичные зерна размером

около 5 мкм в жильном кварце, нарастает на грани галенита и отмечается в нем в виде включений. Самородный теллур с примесью висмута до 25% встречается в субграфических сростаниях с галенитом и гесситом. Самородный селен – единичное микровключение в пирите.

Таблица 2

Химический состав благороднометалльных и Te-Bi-Se-Pb минералов золото-теллуридного рудопроявления Райконкоски

Минерал	Au, %	Ag, %	Te, %	Se, %	Bi, %	Pb, %	Cu, %	Fe, %	S, %	Total, %
Золото сам.	71,21	28,79								100,00
	71,05	28,95								100,00
	81,79	18,21								100,00
Петцит	29,72	38,87	30,60				0,82			100,00
	26,50	40,22	31,53				1,74			100,00
Вольнскит		19,34	33,95	5,52	33,04	8,14				100,00
		18,81	43,34		37,85					100,00
		18,72	43,35		37,93					100,00
		16,62	41,25	3,03	33,42		5,68			100,00
Хедлейит			26,23		73,77					100,00
Пильзенит			27,92	2,43	67,90		1,06	0,68		100,00
			31,99		68,01					100,00
			34,33		65,67					100,00
			25,88	3,20	70,25		0,67			100,00
Цумоит			39,34		56,79	3,87				100,00
		2,25	39,94		57,81					100,00
			34,36		62,46	3,16				100,00
		2,25	38,43		54,65	4,67				100,00
Теллурио-висмутит		1,86	35,33	1,11	49,19					100,00
Теллур самород.		1,44	75,57		24,43					100,00
Гессит		61,33	38,67							100,00
		62,51	37,49							100,00
	4,02	57,89	36,98				1,11			100,00
Штютцит		55,11	44,89							100,00
	1,17	56,30	42,53							100,00
Жозеит В			22,24	3,49	67,03				7,24	100,00
Лайтакарит			21,20	3,61	64,43				10,12	100,00
Галенит селенсод.				1,96		85,17			12,87	100,00
				5,70		82,63			11,67	100,00
				8,78		80,95			10,27	100,00
			2,75	10,72		78,31			8,22	100,00
				13,39		79,93			7,65	100,00
				15,30		78,58			6,12	100,00
				17,41		78,83			7,78	100,00
Клаусталит			4,40	20,64		74,95				100,00
				21,20		78,80				100,00
				28,10		71,90				100,00
Раклиджит			30,97	3,63	49,95	16,14				100,00

Примечание. Микронзондовые анализы выполнены в ИГ КарНЦ РАН на электронном микроскопе VEGA Tescan, аналитик А. Н. Терновой. Анализы нормализованы к 100%.

Углеродсодержащие сланцы, подстилающие долериты с рудоносными карбонат-кварцевыми жилами, по данным бурения интенсивно брекчированы, пронизаны многочисленными кварцевыми прожилками, имеют повышенные содержания Мо – 0,022–0,046%, Cu – 0,05%, Pb – 0,032%, Zn – 0,05%, V – 0,1–0,15%, Ag – 1–3 г/т, Au и элементов платиновой группы. Они содержат неравномерно распределенную рудную минерализацию – пирит, рутил, ильменит, молибденит, халькопирит, ковелин, галенит, клаусталит, кобальтин, сфалерит, пирротин, осмиридий, самородные – медь, цинкистую медь (Zn ~ 35%), никель, железо, олово (Pb – 5%), свинец (Sb –

7%, Sn – 5%), серебро и золото. Пирит, халькопирит и галенит представлены двумя генерациями. Галенит-1 находится в виде мелких включений в халькопирите. Он не содержит селена. Галенит-2 (Se – 5–20%) – более крупные самостоятельные выделения, приуроченные обычно к кварцевым прожилкам. Клаусталит слагает скопления мелких (5–10 мкм) ксеноморфных зерен в графите. В такой же позиции отмечается осмиридий (Ir₃O₅). Размер его выделений достигает 0,5 мм. Самородные металлы в черных сланцах представлены преимущественно мелкими (2–20 мкм) ксеноморфными зернами, наиболее распространенным среди них является цинкистая медь.

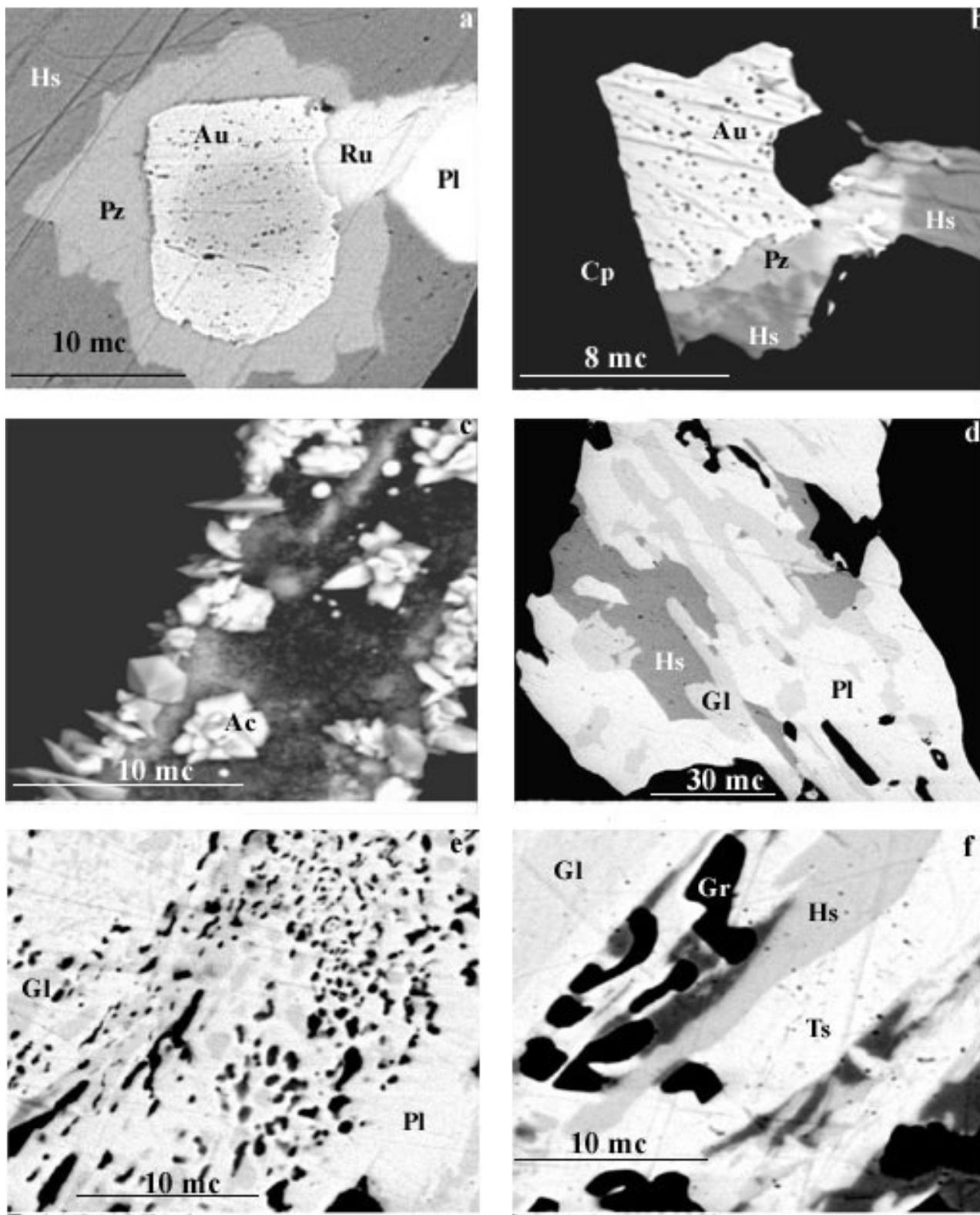


Рис. 3. Электронные микрофотографии рудных минералов рудопроявления Райконкоски (VEGA Tescan):

а – самородное золото (Au), петцит (Pz), раклиджит (Ru) и пильзенит (Pl) в гессите (Hs); б – самородное золото (Au), петцит (Pz) и гессит (Hs) в халькопирите (Cp); в – акантит (Ac) в кальците; д – графические срастания пильзенита (Pl) с галенитом (Gl) и гесситом (Hs); е – симплектиковые срастания пильзенита (Pl), галенита (Gl) и гринокита (черное); ф – графические срастания цумоита (Ts), галенита (Gl), гессита (Hs) и гринокита (Gr)

Рудная минерализация в черных сланцах и в кварцевых жилах имеет признаки генетического единства, представляя собой различные уровни рудной системы, контролировавшейся сдвиговыми дислокациями разного порядка, проявленными в области сочленения Карельского кратона (AR₂) и Свекофеннского складчатого пояса (PR₁). Она имеет несколько одинаковых редких минералов (селенистый галенит, клаусталит, самородные цинкистая медь, олово, свинец, серебро), определяющих ее геохимическую специфику.

Процесс формирования рудной минерализации охватывал широкий температурный интервал – от 550 °С (по наличию звездчатых включений сфалерита в халькопирите) до <170 °С (присутствие акантита, гессита и др.) (Afifi et al., 1988). Золото-теллуридные ассоциации выделялись преимущественно в заключительные стадии процесса рудообразования. Хотя активность селена и теллура в растворах была достаточно высокой и в условиях средних температур. Свидетельство этому – практически полная смесимость галенит-клаусталит и галенит-алтаит, происходящая при температуре >300° (Afifi et al., 1988). Широкое распространение симплектитовых сростаний минералов системы Bi-Te-Ag-Se-Pb на рудопоявлении Райконкоски свидетельствует о высокоградиентных изменениях условий кристаллизации минералов. Это в совокупности с широким температурным интервалом (>400 °С) эволюции рудного процесса и с видовым многообразием теллуридной (14 минералов) и самороднометалльной (13 минералов) минерализации, своеобразным «скучиванием» разнотемпературных ассоциаций определяет вероятную принадлежность рудопоявления Райконкоски к ксенотермальному типу месторождений, выделенному А. Ф. Баддингтоном (Парк, Мак-Дормид, 1966; Сидоров, 2003) и объединяющему признаки эпитермальных и мезотермальных месторождений, контролируемых зонами сдвиговых дислокаций. В то же время рудопоявление Райконкоски имеет сходство с богатыми теллуром эпитермальными месторождениями «щелочного», золото-теллуридного или А-типа (Коваленкер, 2002; Richards, Kerrich, 1993), характеризующимися тесной связью с магматизмом повышенной щелочности и своеобразными геохимической (Te-V-F) и минеральной (теллуриды золота, серебра и других металлов, флюорит, роскоэлит, ванадийсодержащие сульфиды) ассоциациями и, возможно, подвергшимися реювенации (Рундквист, 1993).

Помимо рудопоявления Райконкоски в области сочленения Карельского кратона и Свекофеннского складчатого пояса, являвшейся зоной конвергентного взаимодействия океанической и континентальной плит, известно еще несколько имеющих с ним некоторое геохимическое сходство рудопоявлений (Буохенлампи, Ag – 345–2000 г/т, Au – 0,29 г/т; Койтоньярви, Au – 3,5 г/т, Сярка, Pb – >1%, Au – 0,21 г/т), что, вероятно, свидетельствует о перспективности данной зоны в целом на благороднометалльное оруденение.

Поскольку многие ксенотермальные и эпитермальные А-типа месторождения золота и серебра (Сидоров, 2003; Коваленкер, 2002) являются крупнейшими промышленными объектами, перспективы рудопоявления Райконкоски на благороднометалльное оруденение представляются значительными.

2. Комплексные благороднометалльные проявления в интрузиях кааламского и велимякского типов

Часть промышленных золоторудных месторождений в южной части свекофеннид Финляндии, относящихся к ведущему на Фенноскандинавском щите генетическому типу – орогеническому мезотермальному (Йокисиву ~10 т Au), пространственно ассоциируются с диоритовыми и габбродиоритовыми массивами известково-щелочной серии (возраст 1,89–1,88 млрд лет) (IGCP 486 Field., 2007), формационно-возрастными аналогами которых на территории Приладожья в Карелии являются интрузии кааламского и велимякского типов. Для этих финляндских месторождений характерно развитие зон сдвиговых дислокаций в диоритах и (или) габбродиоритах, сопровождающихся низкотемпературными метасоматическими преобразованиями, прожилковым прокварцеванием и золотонесущей рудной минерализацией.

В Приладожье в аналогичной ситуации, но в более основных породах работами ИГ КарНЦ РАН и СПбГУ выявлено несколько рудопоявлений, в которых кроме золота отмечаются повышенные содержания МПГ и серебра. В интрузиях кааламского типа это проявления Араминлампи и Сурисуо, велимякского – Центральное.

Рудопоявление *Араминлампи* представлено полевошпатсодержащими кварцевыми и мономинеральными кварцевыми жилами северо-западного и широтного простираний мощностью 20–30 см, группирующимися в субпараллельные серии, контролируемые северо-западной тектонической зоной. Жилы дискордантны, незональны, выполнены несколькими генерациями кварца и содержат благороднометалльно-висмутовую минерализацию. Самородный висмут представлен одиночными кристаллами (до 0,5 см), их сростками и тонкораспыленными округлыми корольками (<0,01 мм), слагающими цепочки вдоль субпараллельных микротрещин. В крупных, преимущественно лепешковидной морфологии выделениях висмута содержатся микровключения висмутита. С минералами висмута ассоциируют разнообразные сульфиды: пирит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит, а также арсенопирит и самородное серебро. По данным атомно-абсорбционного и спектрального анализов в жильном кварце с висмутовой минерализацией установлены содержания золота – 0,2 г/т и серебра – 500 г/т.

Рудопоявление *Сурисуо* локализовано в одноименном массиве, расположенном в 1,5 км северо-западнее Кааламской интрузии. Рудовмещающие в

различной степени подсланцованные и биотитизированные (\pm хлорит, карбонат, кварц) порфиробластические амфиболизированные пироксениты и их оливинсодержащие разновидности имеют повышенные содержания меди (0,2–1,0%), никеля (0,01–0,1%), кобальта (до 0,05%), платины (0,32 г/т), палладия (0,36 г/т), золота (0,18 г/т).

В метапироксенитах в ассоциации с халькопиритом, пентландитом, халькозином, сфалеритом установлено широкое развитие барита, висмутотеллуридов (цумоит, хедлейит) и минералов платины и палладия – сперрилита, котульскита, соболевскита, мейченерита, меренскита, фрудита, мончеита, а также самородных платины, золота, серебра и висмута. Кроме этого диагностированы фазы состава $Pd_3(Te, Bi)_4$, $Pd_2(Bi, Au)$. Самородное золото по составу варьирует от высокопробного (970) до электрума – Au_2Ag . Золото присутствует также в соболевските (Au до 6%), а серебро – в пентландите (Ag – 4,23%). Перечисленные благороднометалльные минералы встречаются в виде одиночных микровключений (размером до 30–40 мкм) в халькопирите и алюмосиликатах, а также густой сыпи (до более 10 зерен в поле зрения). Мощность охарактеризованных рудных зон в метапироксенитах составляет 3–14 м.

Рудопроявление *Кааламское Южное* локализовано в юго-западном эндоконтакте массива Кааламо, приурочиваясь к северо-западной зоне (мощностью 2–3 м) рассланцевания, хлоритизации, карбонатизации и сульфидизации метапироксенитов. Оно характеризуется тем же набором рудных минералов, что и рудопроявление Сурисуо.

Тождественная рудная минерализация в метапироксенитах, контролируемая зонами рассланцевания, характерна и для многих других мелких массивов кааламского типа в СЗ Приладожье, но, к сожалению, она детально не изучалась и не анализировалась. В этом аспекте остаются также совсем неизученными диориты и габбродиориты самого Кааламского массива, занимающие громадные площади (40–50 км²), хотя в их пределах еще по данным съемочных работ 70-х годов прошлого века отмечались мощные зоны огнейсования и рассланцевания с бедной сульфидной вкрапленностью и иногда повышенными содержаниями вольфрама (Макарова и др., 1971), типоморфного элемента-спутника золота в мезотермальных золоторудных месторождениях на сопредельной территории Финляндии.

Рудопроявление *Центральное* приурочено к тектонической зоне мощностью ~20 м северо-восточного простирания в центральной части Велимякского массива. Вмещающие метапироксениты в пределах зоны подверглись амфиболизации и биотитизации, сопряженным с формированием кварц-полевошпатовых жил (15–20 – 40 см) и околожилных метасоматитов с турмалином (дравитом), биотитом, хлоритом, микроклином, сульфидной вкрапленностью (сфалерит, арсенопирит, пирротин) и самородным золотом размерностью до 50 мкм. По результатам атомно-аб-

сорбционного анализа содержание золота в зоне изменений метапироксенитов составляет 1,2 г/т, а в шлихах из делювия варьирует в пределах 1,3–2,3 (Алексеев, 2005). В шлихах установлены также повышенные концентрации (в г/т) платины – 0,1–2,0 и палладия – 0,05–0,1. Перспективы на благороднометалльное оруденение Велимякского массива не ограничиваются только рудопроявлением Центральным, так как повышенные содержания золота (до 0,55 г/т) и МПГ (~0,1 г/т) отмечаются в его пределах повсеместно в местах развития бедной сульфидной минерализации в метапироксенитах и габброидах (Иващенко, Лавров, 1997).

Новые типы золоторудных проявлений в архее Карелии

Новые типы золоторудных проявлений, выявленные в последние годы в архее Карелии в пределах Костомукшского рудного района (Петров, Головина, 2003; Горьковец и др., 2007) и Беломорского мобильного пояса (Ручьев, 2002; Ахмедов и др., 2005), находятся в начальной стадии изучения, и вследствие этого их оценка на предмет вероятной промышленной значимости и возможности открытия на их базе крупных комплексных благороднометалльных месторождений носит сугубо предварительный характер и нуждается в более обоснованной аргументации.

В Беломорском мобильном поясе проявления рудной минерализации, относящиеся, вероятно, к промышленному типу комплексных (с Au и МПГ) большого объема месторождений с невысокими содержаниями рудных элементов, но значительными запасами, известны и охарактеризованы на Лоушском, Плотинском, Малиноваракском участках (Ручьев, 2002), а в последние годы выявлены в пределах Климовского рудного узла.

Климовский рудный узел (Петров и др., 2007) характеризуется широким распространением горизонтов золото- и МПГ-содержащих метасоматитов (красно-коричневый высокотитанистый и железистый биотит+хлорит+актинолит+средне-кислый хлор-скаполит), развитых по ортоамфиболитам и амфиболовым сланцам. Формирование метасоматитов, вероятно, связано со свекофеннской эпохой тектоно-термальной активизации (1,85–1,7 млрд лет) и контролируется протяженными зонами сдвиговых дислокаций. Метасоматиты содержат рассеянную сульфидную вкрапленность (пирит, пирротин, халькопирит, пентландит, виоларит), иногда линзовидные обособления массивных колчеданных руд. Отмечаются также минералы благородных металлов – теллуриды и висмута-теллуриды палладия (меренскит, майчнерит, мончеит, котульскит), арсенид платины – сперрилит, родий- и палладийсодержащий кобальтин-герсдорфит. В пределах рудного узла выделено шесть согласно залегающих, протяженных (свыше 9 км) горизонтов рудоносных метасоматитов со средней мощностью 30 м, имеющих комплексную медно-никелевую (Ni – 0,28–0,5%, Cu – 0,26–1,0%) и

золото-платино-палладиевую (Pd – 0,23–1,4 г/т, Pt – 0,16–0,3 г/т), Au (0,3–0,6 г/т) специализацию. Здесь же отмечаются субвертикальные секущие зоны кварц-серицитовых изменений с высокими содержаниями золота: в штучных пробах до 48,6 г/т, в бороздовых – на интервал 1 м до 7,72 г/т. По результатам технологических испытаний, выполненных в ОАО Институт «Гипроникель», рудоносные метасоматиты Климовского рудного узла являются бедными, но хорошо обогащаемыми благороднометалльными рудами с палладиевой специализацией (Петров и др., 2007).

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

Полученные новые данные (СПбГУ, ИГ КарНЦ РАН) по золотоносности *Костомукшского рудного района* и выявление здесь новых рудопроявлений в дополнение к ранее известным золоторудным объектам (Таловейс, Берендей и др.) в совокупности подтверждают его вероятную высокую перспективность на открытие промышленно значимого месторождения золота, возможно даже и крупного по масштабам. В первую очередь это относится к золоторудным проявлениям, формирующимся в протяженных зонах сдвиговых дислокаций и метасоматических преобразований, приуроченных к толщам переслаивания контрастных по составу пород с широким распространением железистых кварцитов, метаультрамафитов и кислых магматитов. Одним из таких перспективных золоторудных объектов, возможно, является рудопроявление Луупеансуо с прогнозными ресурсами золота ~70 т (Горьковец и др., 2007). Однако рудопроявление изучено еще крайне недостаточно и сведения, приводимые по нему (Горьковец и др., 2007), в значительной степени скудны и противоречивы, а столь «смелые» оптимистические прогнозы (70 т Au) в большей степени основываются, вероятно, на интуиции авторов, чем на достоверных фактических данных. Но все же геологическая обстановка развития золоторудной минерализации на данном проявлении представляется вполне благоприятной для формирования крупных золоторудных концентратий.

Порфировые месторождения Карелии как вероятные комплексные золоторудные объекты крупного масштаба

На территории Карелии имеются определенные предпосылки для выявления крупных комплексных с благородными металлами месторождений порфирового типа или перевода в такой ранг при соответствующем доизучении уже известных рудных объектов –

Лобаш-1 и Ялонвара, которые могут представляться как большеобъемные месторождения с бедными рудами. Уже в настоящее время по состоянию изученности одним только снижением бортовых содержания до 1,5 г/т промышленные ресурсы золота на месторождении Лобаш-1 составят около 40–60 т при возможности добычи открытым способом. Золоторудная минерализация месторождения Лобаш-1, локализованная в экзоконтактовом ореоле гранитоидного плутона на удалении 300–400 м от его кровли, и непосредственно развитое в эндо-экзозоне плутона штокверковое молибденовое оруденение (молибденовое месторождение Лобаш – 140 тыс. т Mo) в генетическом аспекте представляются как производные единой рудно-магматической системы, т. е. являются по сути одним комплексным месторождением – Лобашское. Поскольку цены на молибден на мировом рынке в последние годы выросли в несколько раз, то Лобашское порфиоровое месторождение (Mo, Au, Ag и др.) уже сейчас может рассматриваться как крупный промышленно значимый комплексный благороднометалльный рудный объект.

При дополнительном доизучении аналогичная переоценка, вероятно, может быть произведена и для рудного поля Ялонвара, в пределах которого развито комплексное (Mo, Cu, W, Au, Ag, Te и др.) порфиоровое оруденение с прогнозными ресурсами молибдена 40–60 тыс. т, меди – 300–500 тыс. т, золота – 20–30 т и золоторудное орогеническое мезотермальное с ресурсами золота 30–40 т. Последний тип оруденения характеризуется наличием крупноразмерного самородного золота (до 2–3 мм), значительными вариациями содержания золота (от 0,1 г/т до 100 г/т), повышенными концентрациями платины (до 0,3 г/т) и индия (до 150 г/т). С учетом благоприятной мировой конъюнктуры на перечисленные металлы ялонварские рудные объекты в совокупности представляются как единое крупное комплексное (с ведущей ролью благородных металлов) месторождение. Кроме этого, севернее рудного поля Ялонвара на Соанлахтинской площади, являющейся непосредственным продолжением архейского зеленокаменного пояса Ялонвара-Иломанси, в пределах которого на финской территории открыто несколько месторождений золота (Валкеасуо ~18 т Au, Пампало ~9 т Au и др.), выявлено ряд перспективных золоторудных проявлений (Юованйоки, Синкори, Соанйоки, Пролонваара и др.) с общими прогнозными ресурсами золота ~40–60 т (Юдин и др., 2006, 2007), которые при доизучении по масштабности могут соответствовать Ялонварскому рудному полю.

Заключение

В соответствии с результатами наших предшествующих исследований (Голубев и др., 2007) наибольшие металлогенические перспективы на промышленное золото и выявление крупных комплексных благороднометалльных месторождений на территории Карелии имеют (в иерархической последовательности)

Онежский рудный район, Костомукшский рудный район, Лобашский рудный узел и Северо-Ладужский рудный район. По аналогии с Финляндией и Швецией, где преобладающая часть запасов золота сосредоточена в протерозойских структурах с известными крупными золоторудными месторождениями – Болиден, Айттик, Суурикуосикко, более благоприятными представляются и перспективы территории Карелии на промышленное золото протерозойского возраста. Тем более, что ряд установленных на зарубежной части щита протерозойских золоторудоконтролирующих структур (Раахе-Ладужская, Лапландский зеленокаменный пояс и др.) прослеживается на ее территорию. На продолжении Лапландского зеленокаменного пояса в Карелии выявлено в последние годы ряд новых рудопроявлений, относящихся к высокоперспективному для докембрия мезотермальному орогеническому типу золоторудных месторождений.

В Северном Приладожье на продолжении Раахе-Ладужской металлогенической зоны с известными мезотермальными золото-арсенидными месторождениями обнаружено несколько перспективных аналогичных по генезису проявлений, а также оруденение золото-теллуридного типа (проявление Райконкоски), характеризующееся парагенетической и пространственной ассоциированностью с крупной shear-зоной и мощной толщей черных сланцев, имеющих близкие к промышленно значимым содержания ряда рудных элементов (Mo, V, Cu, Zn, Pb, Ag, Au, Pt, Pd и др.). Здесь же помимо проявления Райконкоски известно еще несколько имеющих с ним некоторое геохимическое сходство комплексных золоторудных проявлений (Вуохенлампи, Койтонъярви, Сярка), что свидетельствует о высоковероятной перспективности на благороднометалльное оруденение области сочленения Карельского кратона и Свекофеннского складчатого пояса в целом. Перечисленные золото-

рудные объекты в совокупности с Au-Ag-Pt-Pd мезотермальными проявлениями в интрузиях кааламского и велимякского типов (Араминлампи, Суриусо, Центральное) характеризуют благороднометалльно-ресурсный потенциал Северного Приладожья как значительный (Au > 100 т, Pt > 50 т).

Новые типы золоторудных проявлений, установленные в последние годы в архее Карелии в пределах Костомукшского рудного района и БМП, находятся в начальной стадии изучения, и вследствие этого их оценка на предмет вероятной промышленной значимости и возможности открытия на их базе крупных комплексных благороднометалльных месторождений носит сугубо предварительный характер и нуждается в более обоснованной аргументации. Для Костомукшского рудного района эти новые данные являются дополнительной аргументацией его вероятной высокой перспективности на открытие промышленных месторождений золота, возможно даже и крупных по масштабам. В первую очередь это относится к золоторудным проявлениям, формирующимся в протяженных зонах сдвиговых дислокаций и метасоматических преобразований, приуроченных к толщам переслаивания контрастных по составу пород с широким распространением железистых кварцитов, выступающих в роли базовой золоторудной формации, метаультрамафитов и кислых магматитов. В этом аспекте рудопроявление Луупеансуо (Au ~70 т?) заслуживает самого пристального внимания и детального изучения.

На территории Карелии имеются определенные предпосылки для выявления крупных комплексных с благородными металлами месторождений порфирирового типа или возможен перевод в такой ранг при соответствующем доизучении уже известных рудных объектов – Лобаш-1 и Ялонвара, которые могут представляться как большеобъемные месторождения с бедными рудами.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев И. А. Благороднометалльное оруденение массива Велимяки (Северное Приладожье) // Материалы XVI конф. молодых ученых, посвящ. памяти К. О. Кратца. Апатиты, 2005. С. 244–247.

Артамонова Н. А., Духовский А. А. Геологическое строение и полезные ископаемые Северо-Восточного Приладожья. Отчет. ТГФ Р. Карелия. Петрозаводск. 1989.

Ахмедов А. М., Воинова О. А., Калабашкин С. Н. и др. Компьютерная карта золотоносности докембрия Карельского региона масштаба 1 : 1 000 000. Анализ перспектив // Региональная геология и металлогения. Вып. 13–14. СПб., 2001. С. 84–104.

Ахмедов А. М., Шевченко С. С., Симонов О. Н. и др. Новые типы проявлений комплексной благороднометалльной минерализации в зеленокаменных поясах архея Карело-Кольского региона // Геология и геодинамика архея: Материалы I Рос. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия (27–29 сент. 2005 г.). СПб., 2005. С. 34–38.

Безруков В. И. Отчет о результатах общих поисковых работ на золото в центральной и восточной частях

Куоляярвинского синклиниория в 1984–89 гг. 1989. Фонды ЦКЭ.

Голубев А. И., Иващенко В. И., Трофимов Н. Н. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Металлогения и оценка перспектив Карельского региона на крупные комплексные благороднометалльные месторождения (информационный промежуточный)». Петрозаводск, 2007.

Голубев А. И., Кулешевич Л. В. Перспективы золотоносности протерозойских образований Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. Петрозаводск, 2001. С. 15–25.

Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Рудашевский Н. С., Рудашевский В. Н. Перспективное рудопроявление золота Костомукшского рудного района (Западная Карелия, Россия) // Материалы Всерос. конф. «Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерогенез Северо-Запада России». Петрозаводск, 2007. С. 106–110.

Иващенко В. И., Лавров О. Б. Благороднометалльное оруденение Юго-Западной Карелии // Проблемы золото-

ности и алмазности Севера европейской части России. Петрозаводск, 1997. С. 44–51.

Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И. Рудопроявление Пяколя – новый высокоперспективный тип благороднометалльного оруденения в докембрии Карелии // Доклады РАН. 2002. Т. 384, № 2. С. 232–237.

Коваленкер В. А. Основные типы комплексных поликомпонентных благороднометалльных месторождений эпитептермального семейства // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов: Материалы Всерос. симпозиума, 2002. С. 158–161.

Кожевников В. Н., Голубев А. И., Рыбаков С. И. Рудоконтролирующие факторы золотоносности в архейских зеленокаменных поясах (на примере Сьюпириор и Карельского кратонов) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 1. Петрозаводск, 1998. С. 5–23.

Константинов М. М., Некрасов Е. М., Сидоров А. А. и др. Золоторудные гиганты России и мира. М., 2000. 270 с.

Коровкин В. А., Турылева Л. В., Руденко Д. Г. и др. Недра Северо-Запада Российской Федерации. СПб., 2003. 520 с.

Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования / Под ред. Д. В. Рундквиста. М., 2004. 430 с.

Макарова Г. В., Леонтьев А. Г., Аксентьева А. И. Отчет о геолого-поисковых работах на медь, никель, кобальт, проведенных Тохмайокской партией в Северном Приладожье в 1969–1970 гг. // Фонды СЗТГУ. 1971.

Металлогения Карелии / Отв. ред. С. И. Рыбаков, А. И. Голубев. Петрозаводск, 1999. 340 с.

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

Парк Ч. Ф., Мак-Дормид Р. А. Рудные месторождения. М., 1966. 546 с.

Петров С. В., Головина Т. А. Типы золоторудной минерализации в рудах и вмещающих породах Костомукшского железорудного месторождения железистых кварцитов (Карелия) // Материалы науч. сессии к 100-летию Н. Г. Судовикова «Метаморфизм, гранитообразование и рудогенез». СПб., 2003. С. 98–100.

Петров О. В., Шевченко С. С., Ахмедов А. М. Новые промышленные типы комплексных руд благородных и цветных металлов в докембрии восточной части Балтийского щита // Материалы Всерос. конф. «Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерация Северо-Запада России». Петрозаводск, 2007. С. 292–296.

Рундквист Д. В. Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение // Геология рудных месторождений. 1993. № 6. С. 467–480.

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

Сидоров А. А. О ксенотермальных месторождениях благородных металлов // ДАН. 2003. Т. 389, № 6. С. 795–798.

Степанов К. И., Мурадымов Г. Ш., Путинцева Е. В. и др. Производство поисковых работ в пределах Сортавальской площади (поиски медно-никелевых, полиметаллических и золоторудных месторождений). Отчет. ТГФ Р. Карелия. Петрозаводск. 2004.

Шевченко С. С., Ахмедов А. М., Крупеник В. А. Золотоносность вендских отложений и подстилающих их метасоматитов структурной зоны Ветреный пояс // Материалы Всерос. конф. «Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерация Северо-Запада России». Петрозаводск, 2007. С. 439–443.

Юдин С. Н. и др. Прогнозно-поисковые работы на золото на Ялонварской перспективной площади (Республика Карелия). Отчет. КГЭ. Петрозаводск. 2006.

Юдин С. Н., Михайлов В. П., Иващенко В. И., Хамтула А. Прогнозная оценка золотоносности Российской части Ялонвара-Хатту-Лендерского зеленокаменного пояса // Материалы науч.-практ. конф. «Minex Forum Северо-Запад 2007». Петрозаводск, 2007.

Afifi M. A., Kelli W. C., Essene E. J. Phase Relations among Tellurides, Sulfides, and Oxides: I. Thermochemical Data and Calculated Equilibria // Economic Geology. 1988. Vol. 83, N 2. P. 377–394.

Eilu P. Fingold – a public database on gold deposits in Finland // Geol. Survey of Finland. Report of Investigation 146. Espoo, 1999. 224 p.

Eilu P., Weihed P. Fennoscandian Shield – Orogenic gold deposits // Ore Geology Reviews. 2005. Vol. 27. P. 326–327.

IGCP 486 Field Workshop 2007. Excursion guide for field trip 27–29.8.2007 / Ed. by Kari K. Kojonen. GTK. 2007. 45 p.

Ivashchenko V. I., Lavrov O. B., Sundblad K., Toritsin A. N. Au-Ag-Bi-Te-Se vein mineralization at Roikonkoski, Karelia, northern Lake Ladoga region // Geol. Survey of Finland. 2007. Guide 53. P. 51–56.

Kerrich R., Goldfarb R., Groves D. et al. The characteristics origin and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces // Science in China (series D). 2000. Vol. 43. P. 1–58.

Laznicka P. Giant ore deposits: A Quantitative approach // Global tectonics and metallogeny. 1983. Vol. 2, N 1–2. P. 41–63.

Pankka H. S., Vanhanen E. J. Aulakogen related epigenetic Au-Co-U deposits in northeastern Finland // Geol. Survey of Finland. Current Research. 1988. Espoo, 1989. P. 911–94.

Richards J. P., Kerrich R. The Porgera gold mine, Papua New Guinea: Magmatic hydrothermal to epithermal evolution of an alcaic-type precious metal deposit // Economic Geology. 1993. Vol. 88. P. 1017–1052.

Sundblad K. Metallogeny of gold in the precambrian of Northern Europe // Economic geology. 2003. Vol. 98. P. 1271–1290.