

УДК 553.04 [553.491+553.411+553.078] (470.22)

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСНОЙ БАЗЫ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ РУДНЫХ РАЙОНАХ КАРЕЛЬСКОГО РЕГИОНА

А. И. Голубев, В. И. Иващенко

Институт геологии Карельского научного центра РАН

Показано, что перспективы наращивания ресурсной базы золота и платиноидов в Карельском регионе связываются как с известными в его пределах ведущими генетическими типами благороднометалльного оруденения (малосульфидный Pt-Pd в расслоенных плутонах и габбродолеритах, Cu-U-Mo-V-Pt-Pd-Au полигенный – падминский, золоторудный орогенный мезотермальный и комплексный золото-порфировый), так и с нетрадиционными, новыми для него (стратиформным черносланцевым, железооксидным с медью и золотом – IOCG, золото-урановым – типа Ромпас). Приведены краткие минералого-геохимические характеристики благороднометалльной минерализации в метапироксенитах Кааламского и Вялимякского магматических комплексов, апоскарновых метасоматитах Латвасюръя в Приладожье, черных сланцах Заонежья. Определены минералого-геохимические индикаторы благороднометалльного рудогенеза в палеопротерозойских траппах Карелии, апробированные на Пудожгорском магматическом комплексе и Чинозерском силле. Установлена вариативность РТ-параметров рудогенных процессов в Койкарско-Выгозерской сдвиговой зоне, рассматриваемая как один из действенных критериев ее прогнозно-металлогенической оценки на орогенное золото.

Ключевые слова: докембрий; Карелия; золото; платина; палладий; малосульфидный Pt-Pd тип оруденения; расслоенные плутоны; габбродолериты; Пудожгорское месторождение; орогенное мезотермальное золото; сдвиговые зоны.

A. I. Golubev, V. I. Ivashchenko. PROGNOSTIC ESTIMATE OF NOBLE-METAL RESOURCES IN PROMISING ORE DISTRICTS OF THE KARELIAN REGION

The gold and platinoïd resources of the Karelian region are expected to increase. Our prediction is based on the leading genetic types of noble-metal mineralization known in the region such as the low-sulphide Pt-Pd type in layered plutons and gabbro-dolerites, Cu-U-Mo-V-Pt-Pd-Au polygenic Padma type, orogenic mesothermal gold type and complex gold-porphyry type, as well as new types not reported earlier such as stratiform black shale type, iron oxide type with copper and gold (IOCG) and Rompas gold-uranium type. Noble-metal mineralization in the metapyroxenites of the Kaalamo and Välimäki igneous complexes, Latvasyrja aposkarn metasomatic rocks in Priladozhye (Lake Ladoga area) and Zaonezhye (Trans-Onega) black shales are described briefly mineralogically and geochemically. The mineralogical and geochemical indicators of noble-metal ore formation in Karelia's Paleoproterozoic trapps, tested at the Pudozhgorsky igneous complex

and the Chinozero sill, are identified. Variations in the PT-parameters of ore formation in the Koikary-Vygozero shear zone are interpreted as a reliable criterion for its predictive metallogeny evaluation for orogenic gold.

Key words: Precambrian; Karelia; gold; platinum; palladium; low-sulphide Pt-Pd type of mineralization; layered plutons; gabbro-dolerites; Pudozhgorskoye deposit; orogenic mesothermal gold; shear zones.

Введение

Объектами исследований по прогнозной оценке благороднометалльной ресурсной базы перспективных рудных районов Карелии являлись Пудожгорский, Кааламский и Вялимякский магматические комплексы и их аналоги, углеродсодержащие (шунгитовые) сланцы Занонежья, метасоматиты и оруденение Койкарско-Выгозерской сдвиговой зоны, золоторудные проявления южного окончания архейского зеленокаменного пояса Иломанси-Хатту-Ялонвара и апоскарновых метасоматитов Приладожья. Методической основой исследований служил системный анализ. Наряду с классическими стандартными геологическими методами проводились прецизионные аналитические исследования пород, руд и минералов с использованием современного научного оборудования – сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH с микроанализатором INCA ENERGY 350, ICP-MS, ЭПР и др. Анализы на золото и платиноиды выполнялись в ЦНИГРИ пробирно-масс-спектрометрическим и пробирно-атомно-абсорбционным методами. Изотопные определения возраста (Re-Os) пород и руд выполнялись в Изотопном центре ВСЕГЕИ.

Результаты исследований

На территории Карелии известно несколько десятков перспективных рудных объектов, относящихся как к традиционным, так и к новым для региона типам благороднометалльного оруденения (рис. 1; табл. 1, 2).

Ведущими типами платинометалльного оруденения в Карельском регионе (табл. 1) являются: магматические малосульфидный платино-палладиевый в расслоенных плутонах (Бураковский, Олангская группа) и платино-палладиевый с золотом в габбродолеритах (Пудожгорская и Койкарско-Святнаволоцкая интрузии), полигенный Cu-U-Mo-V-платино-палладиевый с Au (падминский подтип) в альбит-карбонатных метасоматитах черносланцевых толщ зон складчато-разрывных дислокаций (СРД) и смятия (Падма, Весеннее, Царевское, Космозеро и др.).

Малосульфидный платино-палладиевый тип оруденения приурочен к ритмично-расслоенным и дифференцированным мафит-ультрамафитовым комплексам – Бураковскому и Олангскому (рис. 1). В Бураковском плутоне минералы платиновой группы представлены преимущественно теллуридами и висмутидами платины и палладия, реже – интерметаллидами и сульфидами. Содержание металлов платиновой группы (МПГ) в микро-расслоенных горизонтах достигает 3 г/т в клинопироксенитовой зоне и до 6 г/т в полосчатой подзоне при постоянном преобладании Pd над Pt. Среднее содержание МПГ – 0,42 г/т, золота – 0,49. Между содержанием платиноидов и сульфидов отмечается прямая корреляционная зависимость. Прогнозные ресурсы благородных металлов в Бураковском плутоне, по данным ЗАО «Норит», составляют ~600 т, по другим оценкам [Логинов и др., 2007] – ~2000 т, что представляется крайне завышенным.

В интрузивах Олангской группы платинометалльное оруденение приурочено преимущественно к норитовой серии дифференциатов. В массиве Луккулайсваара выявлено семь рудных зон мощностью 12–150 м и протяженностью до 5 км, содержащих бедную сульфидную вкрапленность (1–2 %) с МПГ [Клюнин и др., 1994 и др.]. Содержание МПГ – от 1,5–2 до 20 г/т. По результатам разведочных работ, проводившихся ЗАО «Норит», запасы и ресурсы МПГ и золота на рудопроявлениях массива Луккулайсваара составляют 74 т со средним содержанием Σ Pt, Pd, Au 1,75 г/т. В массиве Кивакка продуктивна на МПГ зона ритмично-расслоенных норитов с вкрапленностью (до 1 %) сульфидов. Содержание Σ МПГ не превышает 4,6 г/т (Pt/Pd – от 0:3 до 2:1). Минералы МПГ и золота образуют микровключения в сульфидах. Общие прогнозные ресурсы благородных металлов по Олангской группе проявлений составляют ($P_1 + P_2$) ~200 т, в т. ч. золота ~20 т.

Проявления малосульфидного платино-палладиевого типа оруденения выявлены также в метапироксенитах Кааламского и Вялимякского магматических комплексов (~1,89 млрд лет) в Приладожье (см. рис. 1, 2) [Иващенко, Лавров, 1997; Иващенко и др., 2016].

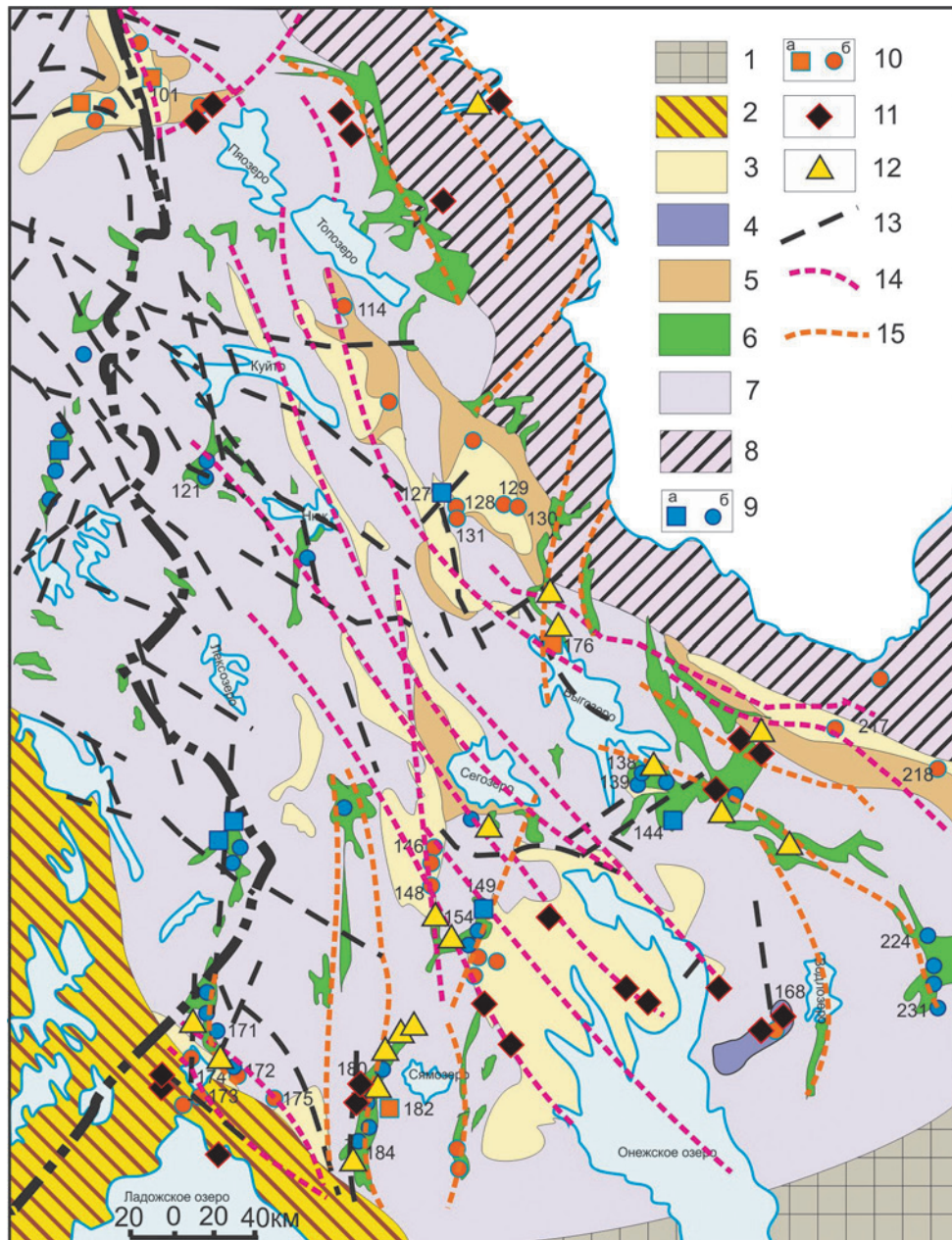


Рис. 1. Схема размещения благороднометалльных и серноколчеданных месторождений и проявлений на территории Карелии; с использованием данных: [Ахмедов и др., 2001; Коровкин и др., 2003; Минерально-сырьевая база..., 2005]:

1 – платформенный чехол; 2 – Свекофеннский складчатый пояс; 3–7 – Карельский кратон: 3 – ятулий, людиковий, калевий, вепсий нерасчлененные, 4 – Бураковский расчлененный ультрамафитовый массив (PR); 5 – сумий и сариолий нерасчлененные, 6 – лопий, 7 – комплекс основания; 8 – Беломорский мобильный пояс; 9, 10 – золоторудные объекты (а – месторождения, б – проявления): 9 – архейские, 10 – протерозойские (101 – Майское, 114 – Шомбозерское, 121 – Таловейс, 127 – Лобаш-1, 128 – Железные Ворота, 129 – Шуезерское, 130 – Риговарака, 131 – Нигалма, 138 – Заломаевское, 139 – Южно-Заломаевское, 144 – Рыбозерское, 146 – Питкулампинское, 148 – Ятулий-1, 149 – Педролампи, 154 – Эльмус, 168 – Меридиональная зона, 171 – Соанварское, 172 – Ялонвара, Хатуноя, 173 – Пякюля, Янис, 174 – Райконкоски, 175 – Фаддейнкелья, 176 – Воицкое, 180 – Центральное, 182 – Новые Пески, 184 – Няльмозерское, Ведлозерское, 217 – Нименьга, 218 – Кожозерское, 224 – Надвиговое, 231 – Кенозерское); 11 – платинометалльные проявления; 12 – серноколчеданные месторождения; 13 – тектонические нарушения, контролирующие размещение мелких золоторудных проявлений и пунктов минерализации; 14, 15 – зоны сдвиговых дислокаций с золотоносными метасоматитами: 14 – протерозойские, 15 – архейские

Таблица 1. Рудно-формационные типы платинометалльных объектов перспективных рудных районов Карельского региона

Рудные формации	Тип, подтип	Геологические формации	Месторождения, проявления	Возраст, млн лет
1. Класс эндогенных месторождений				
1.1. Собственно-магматическая группа				
Малосульфидная платинометалльная	Платино-палладиевый	Мафит-ультрамафитовая (расслоенные комплексы)	Бураковское, Луккулайсваара, Кивакка, Ципринга и др.	U-Pb 2449 ± 1,5 U-Pb 2442 ± 1,9 U-Pb 2444 ± 1 U-Pb 2442,3 ± 1,7
		Диорит-габбронорит-пироксенитовая	Ю. Кааламо	U-Pb 1883,3 ± 5,2
Платиносодержащая хромитовая	Платино-палладиевый с Ru-Os	Мафит-ультрамафитовая	Бураковский (ГХГ)	U-Pb 2449 ± 1,5
Платиносодержащая титаномагнетитовая с ванадием	Платино-палладиевый с золотом (пудожский тип)	Трапповая толеит-базальтовая (габбро-долеритовая)	Пудожгорское, Койкарско-Святнаволоцкое	U-Pb 1984 ± 7,0 U-Pb 1983,4 ± 6,5
1.2. Постмагматическая группа				
Медносульфидная платинометалльная	Платино-палладиевый	Диорит-габбронорит-пироксенитовая	Кааламо, Сурисуо	U-Pb 1883,3 ± 5,2
Золото-платиноидно-содержащая медно-молибден-порфировая	Re- ¹⁸⁷ Os радиогенный в молибдените	Диорит-грано-диорит-гранитовая	Лобаш, Пяяваара Ялонваара	U-Pb 2807,7 ± 1,4 Re-Os 2772 ± 11 Re-Os 2741 ± 11
	Полисульфидный с Au, Pt и Pd	Березиты, пропилиты	Ялонваара, Хатуноя	
2. Класс полигенных месторождений				
Платино-полиметалльная в углеродистых сланцах и метасоматитах (онежский тип)	Cu-U -Mo-V платино-палладиевый с Au и ¹⁸⁷ Os (падминский подтип)	Альбит-карбонатные метасоматиты зон СРД в углеродистых сланцах	Ср. Падма, Падма, Весеннее, Царевское, Космозеро, Губа Великая	U-Pb 1724 ± 4,2

Таблица 2. Генетические типы золоторудной минерализации перспективных рудных районов Карельского региона

Генетический тип	Геологические структуры	Возраст, млрд лет	Месторождения, проявления (ресурсы Au, т)
Орогенный мезотермальный (мезозональный)	AR зеленокаменные пояса: Ялонвара-Иломантси, Костомукша, Сумозеро, Хаутоваара	AR 2,7	Рыбозеро (18,3), Педролампи (12,5), Хатуноя (4–8), Нов. Пески, Соанйоки, Хюрсюля, Фаддейнкелья
	PR зеленокаменные пояса: Лапландский (на территории Карелии)	PR 1,9–1,85	Майское (~1,0), Кайралы, Воицкое (0,1), Шапочка
	Свекофеннский складчатый пояс: Сев. Приладожье	PR 1,87–1,83	Пякюля (20,0), Алатту, Янис (11,2), Райконкоски
Порфировый (Intrusion-related)	AR зеленокаменные пояса: Авнеозеро-Парандовский, Ялонвара-Иломантси	AR 2,8–2,7	Лобаш-1 (34,4), Ялонвара (20,0), Хатуноя, Кадди-лампи, Заломаевское (45,0), Таловейс (12,2)
Эпитермальный (+метаморфизм)	Свекофеннский складчатый пояс: Сев. Приладожье	PR 1,9–1,85	Райконкоски
Скарновый (IOCG?)	Свекофеннский складчатый пояс: Сев. Приладожье	PR 1,9–1,5	В. Люпикко

Примечание. Ресурсы Au с использованием данных: [Иващенко, Голубев, 2011; Минерально-сырьевая база..., 2005].

В Кааламском комплексе они представлены сингенетическими (Ю. Кааламское, Ран-тамяки, Араминлампи) и эпигенетическими (Сурисуо, Кеккоселька) рудными объектами [Иващенко и др., 2016]. Содержание Σ Pt, Pd, Au – 0,9–1,1 г/т, а по данным [Лавров, 2013], достигает 8–9 г/т. Процесс сингенетического рудогенеза начинался на

позднемагматической стадии (~800 °С), последовательно эволюционируя от рудных фаз системы Pt-Rh-As-S с медно-никелевыми сульфидами, мертеитом и Pd-мелонитом к висмутотеллуридам палладия и завершаясь в гидротермально-метасоматическую стадию (< 271 °С) кристаллизацией минералов системы Bi-Te-Se-Pb, полиметалльных сульфидов

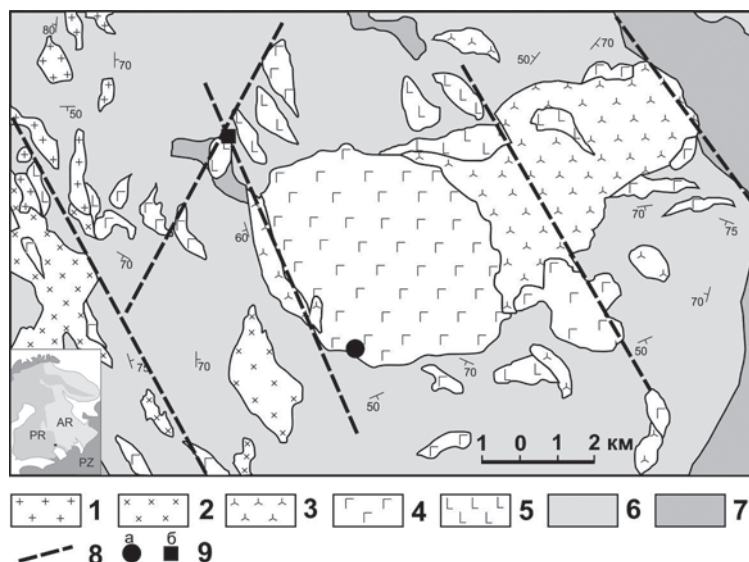


Рис. 2. Схема геологического строения Кааламского массива, по [Степанов и др., 2004] с изменениями и дополнениями:

1 – граниты, лейкограниты, пегматоидные граниты (Маткасельский комплекс, ~1,8 млрд лет); 2 – амфиболовые, биотит-амфиболовые диориты, кварцевые диориты (Яккимский комплекс, ~1,85 млрд лет); 3–5 – Кааламский клинопироксенит-габбронорит-диоритовый комплекс (~1,89 млрд лет): 3 – амфиболовые, амфибол-биотитовые диориты, кварцевые диориты, тоналиты; 4 – габбро-нориты, габбро, меланодiorиты; 5 – оливиновые клинопироксениты, плагиоклинопироксениты, меланократовые габбро-нориты и габбро; 6 – кварц-биотитовые сланцы, углеродсодержащие кварц-биотитовые сланцы, кварцито-песчаники, аркозовые песчаники, кварциты, гнейсосланцы с гранатом, андалузитом (нерасчлененная ладожская серия); 7 – сланцы слюдястые, филлитовидные, графитсодержащие, прослои песчаников, амфиболовых сланцев и амфиболитов, линзы мраморов, пироксеновых скарноидов (нерасчлененная сортавальская серия); 8 – тектонические нарушения; 9 – проявления благороднометалльной минерализации: а – сингенетический тип (Южно-Кааламское), б – эпигенетический тип (Сурисуо)

и самородных металлов (Au, Cu, Bi). Эпигенетическое оруденение формировалось при температуре от ~500 до <230 °С в зонах интенсивного проявления сдвиговых деформаций и низкотемпературного метасоматоза, что способствовало образованию широкого спектра рудных минералов систем Bi-Te-Se-Pb и Pd-Bi-Te, характеризующихся сложным и разнообразным изоморфизмом (рис. 3). Геолого-структурные, минералогические и физико-химические особенности эпигенетического оруденения указывают на наложенный его характер и вероятный период формирования (~1,85 млрд лет) на коллизионной стадии свекофеннского тектоно-магматического цикла. Учитывая геологическую позицию Кааламского комплекса в пределах Раахе-Ладожской металлогенической зоны, характеризующейся широким и интенсивным проявлением сдвиговых дислокаций, эпигенетический тип оруденения представляется более перспективным.

В Вялимякском массиве установлено несколько пунктов благороднометалльной ми-

нерализации малосульфидного платино-палладиевого типа (содержание Σ Pt, Pd, Au – до 0,7 г/т) в тесной пространственной ассоциированности с титаномагнетитовыми рудными телами [Иващенко, Лавров, 1997; Иващенко, Голубев, 2011]. Особенности распределения, минеральные ассоциации и видовой состав благороднометалльной минерализации (табл. 3) свидетельствуют о наибольшей вероятности ее эпигенетического происхождения.

Платино-палладиевый титаномагнетитовый с золотом и ванадием тип оруденения связан с Fe-Ti-V месторождениями Пудожгорской и Койкарско-Святнаволоксской пластовых интрузий габбродолеритов (1983,4 ± 6,5 млн лет), расположенных в крайних частях Онежской структуры (см. рис. 1).

В Пудожгорской интрузии благороднометалльное оруденение представлено теллуридами Pt и Pd (котульскитом, меренскитом, сопчеитом, кейтконнитом), сперрилитом, самородным золотом и электруммом, ассоциирующимися с сульфидами (халькопирит+борнит)

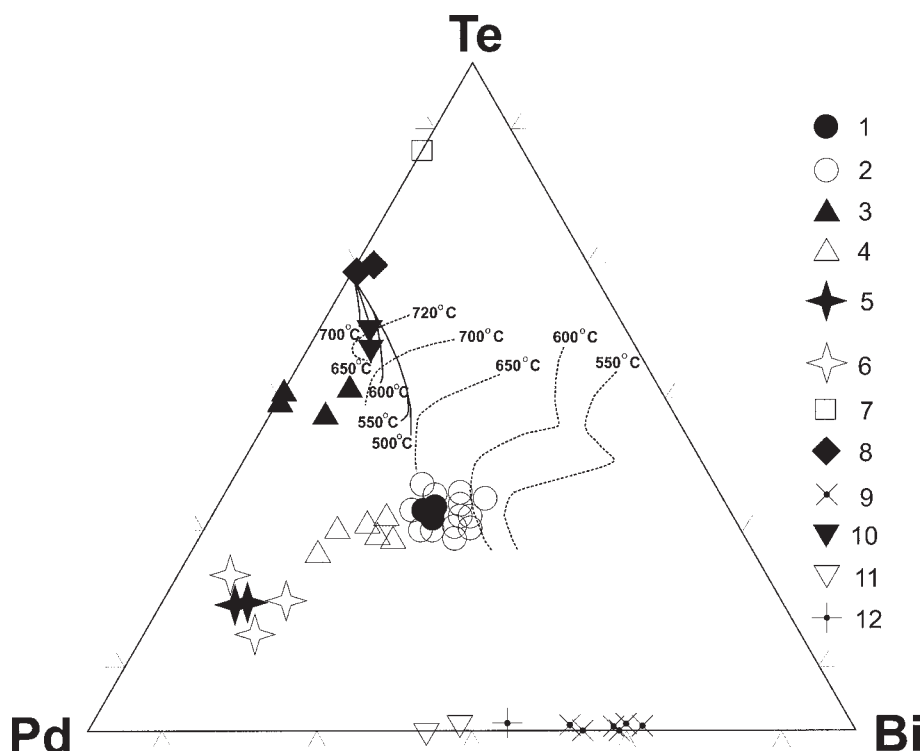


Рис. 3. Состав минералов системы Pd-Bi-Te благороднометалльного оруденения Каааламского массива:

1, 2 – майченерит, Pd, Bi, Te; 3, 4 – котульскит, Pd (Te, Bi); 5, 6 – кейтконит, Pd₃Te; 7 – гексатетибиопаникелит, (Ni_{0,75}Pd_{0,25}) (Te_{0,75}Sb_{0,25}); 8 – мончеит, (Pt, Pd) (Te, Bi)₂; 9 – фрудит, PdBi₂; 10 – меренскиит, Pd (Te, Bi)₂; 11 – соболевскит, PdBi; 12 – урванцевит (Pd (BiPb)₂). Залитый черным значок – сингенетический тип оруденения, незалитый – эпигенетический. Сплошные линии отображают составы меренскиита при различных температурах образования; пунктирные – составы сосуществующих расплавов по экспериментальным данным [Hoffman, MacLean, 1976]

в титаномагнетитовых рудах, слагающих псевдостратифицированный горизонт мощностью около 20 м между габбровой (нижней) и диоритовой (верхней) зонами интрузий. Пики концентраций Pt, Pd и Au в рудном горизонте совмещены. Между содержанием Au, МПГ, Cu и Fe отмечается корреляционная зависимость (рис. 4).

В Койкарско-Святнаволоцкой интрузии благороднометалльная минерализация более разнообразна [Borozdin et al., 2014] с доминированием Pt-Pd арсенидов (сперрилит, арсенопалладинит, палладоарсенид, паларстанид, холлингвортит), стибиаарсенидов (мертеит-I, мертеит-II, изомертеит, винцентит) и меньшим распространением висмутотеллуридов (котульскит, меренскиит, мончеит), сульфидов (брэггит, куперит, висоцкит, (Pt, Cu, Co)₄S₅), станнидов (паоловит, атокит), а также золота, электрума, гессита и науманнита.

На Пудожгорском месторождении установлен четкий минералогический контроль резкого увеличения концентраций благородных металлов (БМ) при смене пирит-халькопиритовой

ассоциации на халькопирит-борнитовую, т. е. с высокосернистой на более дефицитную по сере. Сульфиды и БМ-минерализация ассоциируют с поздним высокожелезистым парагенезисом – Cl-феррочермакит, Fe-Cl-актинолит±биотит±хлорит±ильменит-II. По разрезу интрузий концентрации хлора в биотите и амфиболе закономерно меняются. Наиболее низкие (0,2–0,6 %) – в подрудном горизонте и наиболее высокие, но сильно варьирующие (0–2,5 %) – в надрудном.

Содержание Σ Au, МПГ достигает 1,0–2,0 г/т при среднем около 1,0 г/т для обоих месторождений. В пределах титаномагнетитового горизонта встречаются слои мощностью 5–7 м, обогащенные МПГ со средним содержанием 1,5–2 г/т. В Пудожгорском месторождении обогащена нижняя часть рудного горизонта, а в Койкарско-Святнаволоцком – верхняя. Суммарные ресурсы (т) и средние содержания (г/т) благородных элементов (БЭ) для Пудожгорского интрузива соответственно составляют: Пудожгорское месторождение (P₁ = 293,9; Pt – 17; Pd – 0,43;

Таблица 3. Видовой минеральный состав пунктов благороднометалльной минерализации Вялимякского массива

Минералы Fe, Ti, Cu, Ni, Co	
Титаномагнетит, магнетит (V – до 2,8 %, Cr – до 1,8 %), ильменит (Mn – 1,2–5,3 %), гематит, кобальтин, зигенит, халькопирит, борнит, ковеллин, хейкокит, пирит, пирротин, марказит, гетит	
Минералы As, Bi, Te, Se, Pb, Zn	
Арсенопирит, леллингит, галенит, сфалерит (Fe – до 8,3 %, Cu – до 5 %), теллурувисмутит, хедлейит, цумоит, сульфоцумоит, тетрадимит, висмут самородный	
Минералы Pt, Pd, Rh, Au, Ag	
Котульскит, майченерит, меренскиит, мертиит-II, сперрилит, теллурупалладинит, соболевскит, фрудит, миассит-заппинит?, золото, электрум (Au _{0,63-0,69} Ag _{0,31-0,37}), мальдонит, гессит, штюццит, аргентопентландит	
Второстепенные нерудные и аксессуарные минералы	
Апатит, титанит, рутил, циркон, бадделейт, барит (Sr до 3 %), шеелит, молибденит, кюрит, ричетит, турмалин, кварц, шпинель-плеонаст, анортотлаз, оливин, ортит, паризит, графит, касситерит, медь самородная, уранинит, торит	
Минералы рудовмещающих пород	
Клинопироксены (авгит-салит f – 0,24–0,42), диопсид f – 0,18–0,22), амфибол (роговая обманка f – 0,37–0,58, актинолит f – 0,27–0,31), плагиоклаз (№ 16–54), биотит (f – 0,37–0,55), флогопит (f – 0,20), ортоклаз (Ba до 3 %), эпидот (f – 0,22–0,28), альбит, серицит, хлорит (f – 0,73), кальцит, иддингсит, пренит, кварц	

Таблица 4. Параметры рудных тел по участкам на Семченской площади

Участок	Параметры				Рудный потенциал	
	Сред. содерж. в усл. Pd, г/т	Мощность, м	Глубина оценки, м	Протяженность, м	Руда, млн т	Усл. Pd, т
Викша	2,12	6,6	100–150	9800	60,8	130
Кенти	2,18	6,4	150	7000	55,1	120
Шаргилампи	2,0	5	150	7400	30,5	61
Итого					146,4	311

Примечание. По данным: [http://www.polymetal.ru/operations-landing/stand-alone-exploration-projects/semcha.aspx?sc_lang=ru-RU].

Au – 0,32; ΣБЭ – 0,93); Тубозерское проявление ($P_1 = 264,4$; Pt – 0,09; Pd – 0,22; Au – 0,09; ΣБЭ – 0,40); для Койкарско-Святнаволоцкого ($P_1 = 343,6$; Pt – 0,31; Pd – 0,41; Au – 0,37; ΣБЭ – 1,09) и в целом для Пудожгорского магматического комплекса $P_1 = 901,1$. К настоящему времени эти ресурсы с учетом результатов разведочных работ, проведенных в пределах Койкарско-Святнаволоцкого силла ООО «Индустрия», могут быть существенно увеличены. В данном силле выделены три рудных участка с общими прогнозными ресурсами платиноидов 311 т (табл. 4), один из которых (Викша) детально разведан и переведен в ранг месторождения для карьерной разработки с запасами 130,62 т усл. Pd (ср. содержание 2,12 г/т) до глубины 100 м. Выдержанные по простиранию и мощности (3–8,5 м) рудные зоны с благороднометалльным (Au, Pt, Pd) оруденением приурочены к титаномагнетитовой залежи, прослеженной на 23 км при максимальной мощности до 40 м (http://www.polymetal.ru/operations-landing/stand-alone-exploration-projects/semcha.aspx?sc_lang=ru-RU).

Установленные комплексные геологические и минералого-геохимические индикаторы

благороднометалльного рудогенеза в Пудожгорской и Койкарско-Святнаволоцкой интрузиях в приложении к их формационно-возрастным аналогам (силлы Габбневский, Тубозерский, Чинозерский и др.) указывают на наибольшую вероятную перспективность среди них Чинозерского силла (рис. 5) в Янгозерской структуре, что подтверждается предварительными данными (содержание МПГ – до 1 г/т, Au – до 3 г/т; сперрилит, кристанлеит, науманнит, аргентит, электрум, золото самородное) (рис. 6).

Полигенный Cu-U-Mo-V-платинопалладиевый с золотом тип в альбит-карбонатных метасоматитах зон складчато-разрывных дислокаций в черносланцевых толщах развит в Онежской структуре (см. рис. 1). Комплексное МПГ-содержащее оруденение локализовано в шунгитсодержащих сланцах и алевролитах на крутопадающих и опрокинутых крыльях и в сводовых частях осевых и фланговых антиклиналей. Выделяются до-рудные и рудные метасоматиты, в совокупности образующие зональный ореол, центральные части которого вмещают наиболее богатое золото-уран-ванадиевое оруденение. В среднем

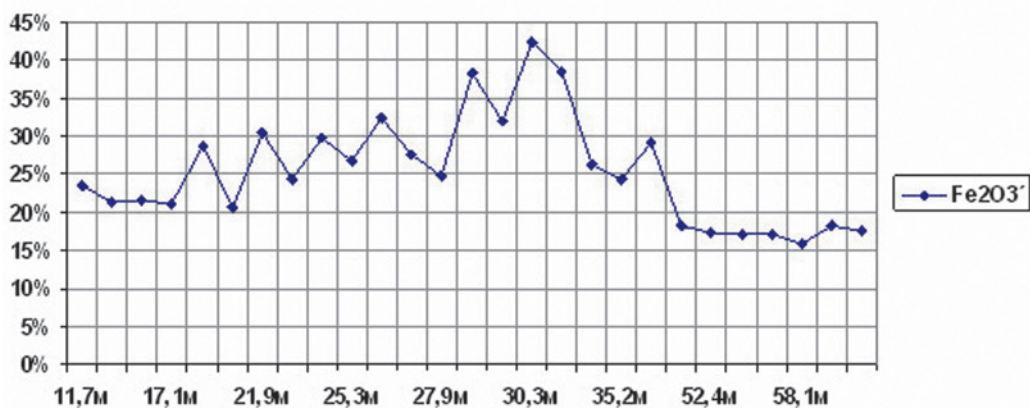
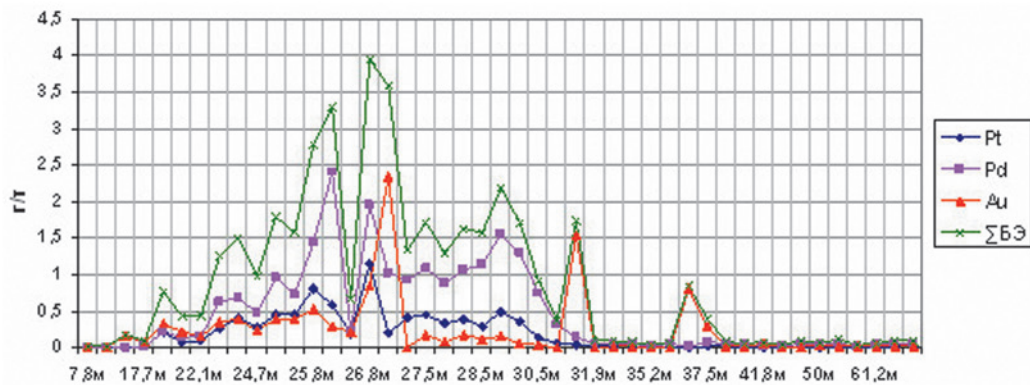


Рис. 4. Корреляция содержания благородных металлов, железа и меди в рудах Пудожгорского месторождения

по объектам данного типа (Падминская группа месторождений и др.) содержание МПГ составляет не более 0,2–0,3 г/т (Pt/Pd – 10/1), но на отдельных участках мощностью до 1,5–2,5 м выявлены ураганные концентрации (в г/т): Pt – 56, Pd – 140, Rh – 1, Au – 126 [Билибина и др., 1991]. Минеральные формы платиноидов представлены висмутидами, селенидами, селеносульфидами Pd и Pt, ассоциирующимися с многочисленными редкими рудными минералами, среди которых доминируют селениды [Полеховский, Кацнельсон, 2015].

Прогнозная оценка этого типа благородно-металлического оруденения может существенно возрасти в связи с выявлением комплекса признаков, свидетельствующих об участии в его формировании процессов глубинного гипергенеза [Мельников, Шумилин, 1995; Черников, 2001] и вследствие этого возможного масштабного концентрирования МПГ и Au вне уран-ванадиевых рудных тел. Подтверждением этого является установление максимальных концентраций благородных металлов на месторождении Падма (по единичным анализам)

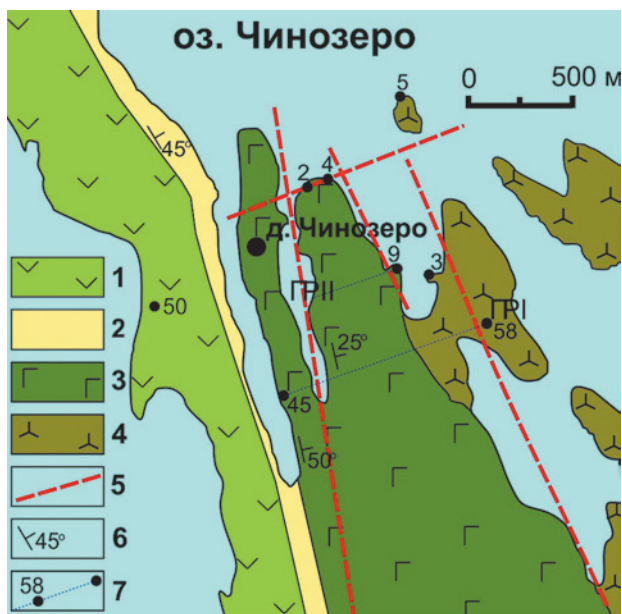


Рис. 5. Схема геологического строения юго-восточной части Чинозерской интрузии (с использованием данных КГЭ):

1 – янозерская свита, лавы основного состава; 2 – северозеозерская свита, кварцевые гравелито-конгломераты, карбонатсодержащие песчаники; 3, 4 – Чинозерская дифференцированная интрузия: 3 – габбро, 4 – диориты; 5 – тектонические нарушения; 6 – элементы залегания пластовой отдельности; 7 – профили опробования и номера проб

за пределами установленных рудных тел в нижних частях приповерхностной зоны окисления ($Au - n10 \text{ г/т}$, $Pd > 100 \text{ г/т}$, $Ag > 1000 \text{ г/т}$) и в глубинной (гематитизированной) зоне окисления ($Pd - 22 \text{ г/т}$, $Au - 2,5 \text{ г/т}$, $Pt - 1,1 \text{ г/т}$, $Ag - 330 \text{ г/т}$) [Черников, 2001].

Кроме падминского типа оруденения в черных сланцах Онежской структуры установлены также незначительные проявления стратиформной благороднометалльной минерализации, которая в силу контрастности восстановительного углеродного барьера в разрезе распределена резко локально, с вероятной преимущественной концентрацией рудного вещества в металлоорганических комплексах, распадавшихся при метаморфизме с образованием микро- и наноразмерной минерализации золота и платиноидов (рис. 7). Это в совокупности с установленными во многих местах Онежской структуры повышенными фоновыми содержаниями Au , Pt и Pd в шунгитах на уровне $0,01-0,2 \text{ г/т}$ (ИНАА, РФА) подтверждает соответствующий ресурсный потенциал углеродсодержащих комплексов Заонежья. Последующие процессы мобилизации рудного вещества проявились в первую очередь в зонах интенсивных деформаций (антиклинальные складки), в пространственной ассоциации с инъекциями максовитов и пеперайт-структурами (экзоконтакты

внедрившихся силлов). А наиболее масштабное развитие они получили в зонах складчато-разрывных дислокаций.

Прогнозные ресурсы МПГ и золота в черносланцевых толщах Онежской структуры, по разным оценкам, ввиду недостаточной изученности сильно варьируют – $100-1100 \text{ т}$.

В целом для территории Карелии по всем формационно-генетическим типам платинометалльного оруденения прогнозные ресурсы МПГ оцениваются в $\sim 2000 \text{ т}$ и сопутствующего золота – в $\sim 400 \text{ т}$.

Ведущими генетическими типами золоторудной минерализации на территории Карелии являются орогенный мезотермальный и порфиновый. На Фенноскандинавском щите наиболее значимые месторождения орогенного типа известны в архейском зеленокаменном поясе Ялонвара-Хатту-Иломантси и палеопротерозойском Лапландском. В российской части этих структур выявлено несколько мезотермальных проявлений золота (рис. 8) и одно разрабатывавшееся в конце XX века месторождение – Майское. Наиболее перспективным из них является рудопроявление Хатуноя в Ялонварской структуре с прогнозными ресурсами золота по категории P_2 до глубины 100 м $4,05-7,8 \text{ т}$ [Иващенко, Голубев, 2011]. В целом по всем известным золоторудным проявлениям российской части архейского зеленокаменного пояса Ялонвара-Хатту-Иломантси прогнозные ресурсы золота составляют $\sim 50 \text{ т}$ [Юдин и др., 2008].

Среди золоторудных объектов орогенного мезотермального типа в других архейских зеленокаменных поясах Карельского региона по масштабам и степени изученности выделяются месторождения Рыбозеро, Педролампи, Новые Пески [Минерально-сырьевая база..., 2005; Булавин и др., 2013; Кулешевич, Тытык, 2014 и др.]. Новые данные по месторождениям Педролампи и Новые Пески, полученные при геолого-разведочных (ООО «Индустрия» и «Онего-золото») и научно-исследовательских (ИГ КарНЦ РАН) работах, показали их незначительные масштабы по запасам (Педролампи $\sim 1 \text{ т}$, $4-5 \text{ г/т}$; Новые Пески $\sim 1 \text{ т}$, $4,68 \text{ г/т}$) и вероятное полигенно-полихронное происхождение [http://pryazha.karelia.info/1291036233/gornopromishlennii_kompleks.html; Булавин и др., 2013].

Порфиновый тип оруденения представлен комплексными месторождениями Лобаш-1, Ялонвара и несколькими проявлениями – Таловейс, Заломаевские и др. с прогнозными ресурсами золота $\sim 90 \text{ т}$. Нарращивание золоторудных ресурсов этого типа оруденения

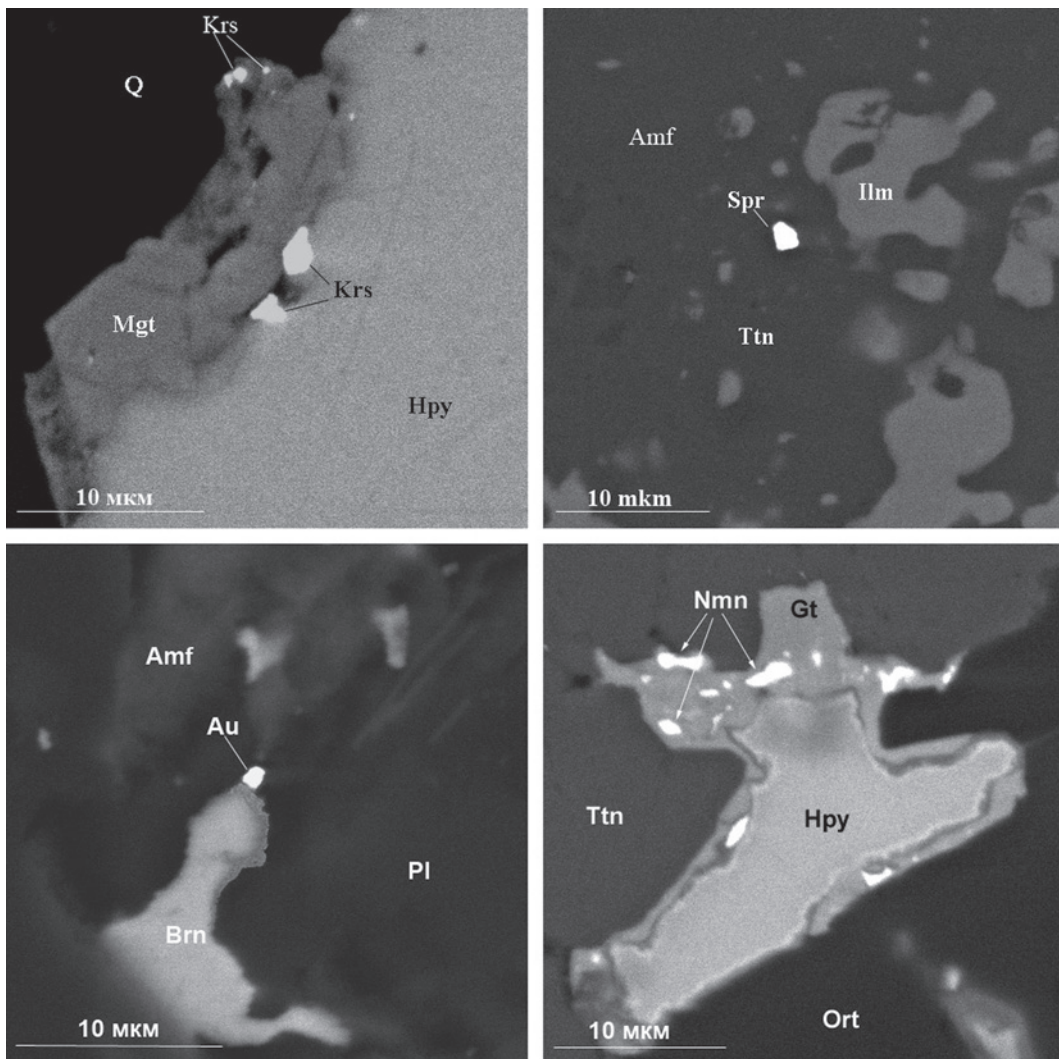


Рис. 6. Благороднометалльная минерализация в габбродолеритах Чинозерской интрузии:
 Amf – амфибол, Au – золото самородное, Gt – гетит, Hpy – халькопирит, Ilm – ильменит, Krs – кристаллит, Mgt – магнетит, Nmn – науманнит, Ort – ортоклаз, Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Spr – сперрилит, Ttn – титанит

возможно в южной части зеленокаменного пояса Ялонвара-Хатту-Иломанси, где известно несколько перспективных проявлений (Пертинъярви, Кадиламп и др.), на части из которых в настоящее время ведутся поисково-оценочные и разведочные работы (ОАО «Аврора-менеджмент»).

Кроме архейских золоторудных объектов орогенного мезотермального типа в ряде структур (Куолаярвинская, Ладожская, Ветренный Пояс и др.) Карельского региона известны также и однотипные проявления протерозойского возраста (см. рис. 1). Более того, основываясь на результатах изохронного Rb-Sr датирования проявлений золота в архейских зеленокаменных поясах Карелии [Ларионова, 2008 и др.], в большинстве своем укладывающихся в интервал 2,0–1,45 млрд лет, и считая их

истинно отражающими возраст оруденения, а не время наложенных метаморфо-метасоматических преобразований, делается вывод о протерозойском возрасте оруденения золота в них и, соответственно, о крайне низкой перспективности архея Карелии на золото. В отдельных случаях эти результаты Rb-Sr датирования резко противоречат установленным геологическим фактам о генетической связи оруденения с определенным интрузивным массивом (Хатуноя, Ялонвара). Из чего следует, что установленные возрасты отражают время последнего изменения изотопной системы минералов либо вообще не несут никакого геологического смысла. Это обусловлено, во-первых, «легкостью» нарушения K-Ar, Rb-Sr и Pb-Pb изотопных систем в датировемых минералах, во-вторых, эти минералы формируются

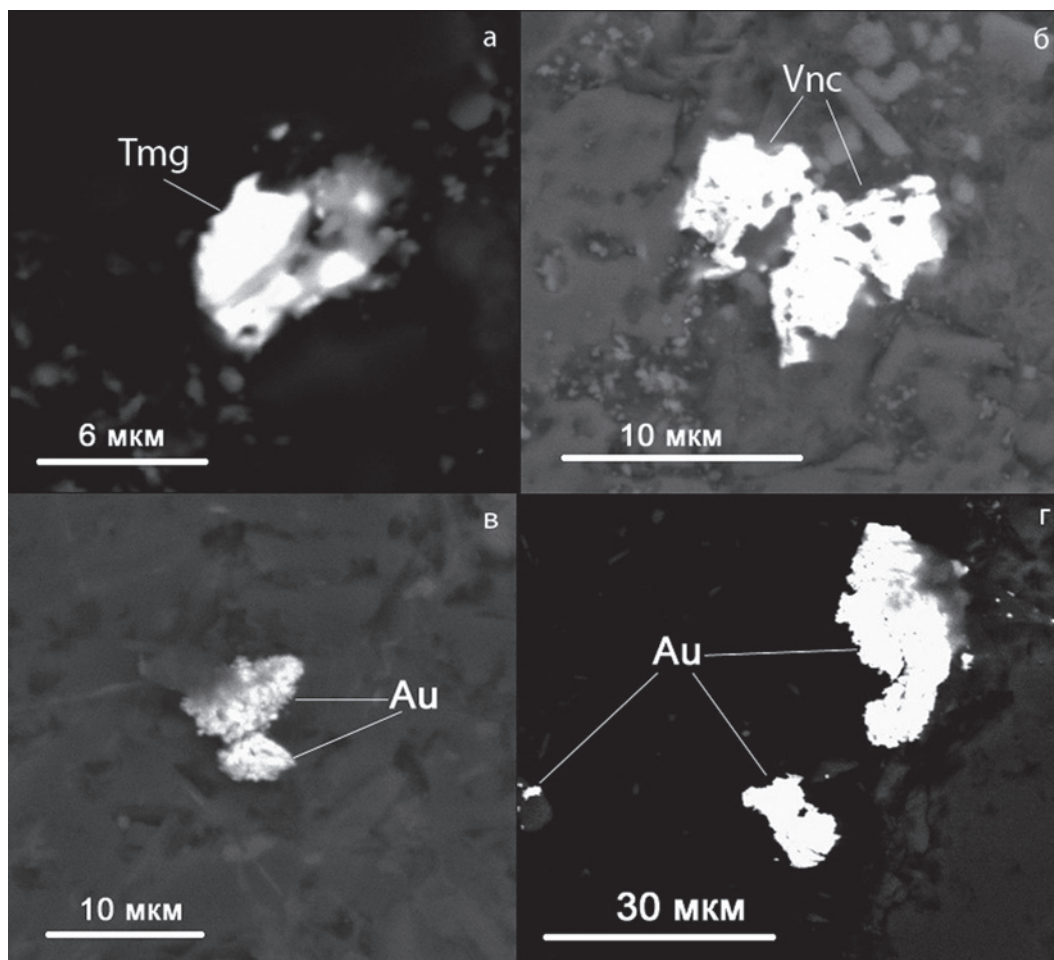


Рис. 7. Благороднометалльная минерализация в углеродсодержащих (шунгитовых) сланцах:

а, б – уч-к Мироновский, в – уч-к Ламбас-ручей, г – уч-к Педра-Кара. Tmg – темагамит (Pd_3HgTe_3), Vnc – винцентит ($(\text{Pd}, \text{Hg})_3(\text{As}, \text{Sb}, \text{Te}, \text{Bi})$), Au – золото

в континентальной коре, обогащенной K, Ag, Rb, Sr и Pb в гидротермальных условиях открытой системы со смешением разных изотопных источников вещества. В связи с этим представляется исключительно важным определение возраста рассматриваемых золоторудных проявлений Re-Os методом, признанным в настоящее время [Luck, Allegre, 1982 и др.] наиболее перспективным и информативным для датирования сульфидных руд, а также выяснение характера взаимосвязи эндогенных процессов в орогенных мезотермальных золоторудных системах Карельского региона и определение критериев оценки перспектив золотоносности отдельных региональных сдвиговых зон в его пределах.

Полученные нами совместно с ВСЕГЕИ, СПГУ и ГГУП «Минерал» изохронные Re-Os датировки комплексных (золотосодержащих) молибден-порфировых месторождений Лобаш (2720 ± 36 млн лет) и Ялонвара (2760 ± 38 млн лет) архейского Карельского кратона

и проявления Пякюля-Алатту (1914 ± 34 млн лет) в Свеккофеннском поясе [Богачев и др., 2013] показывают устойчивость изотопной Re-Os системы молибденитов к интенсивному и неоднократному метаморфизму и ее пригодность для датирования рудных процессов в раннем докембрии. Они также однозначно свидетельствуют о наличии уже в позднем архее рудно-магматических систем с промышленными гидротермальными рудами порфирового типа и об отсутствии их существенного переотложения в более позднее время.

Главным рудоконтролирующим фактором для орогенного мезотермального типа оруденения золота в Карельском регионе являются системы разноранговых сдвиговых зон, объединяющиеся в региональные зоны сдвиговых дислокаций, имеющие, как правило, полихронное развитие. На Карельском кратоне они в большинстве своем наследуют глубинные разломы, контролировавшие изначально размещение колчеданных месторождений

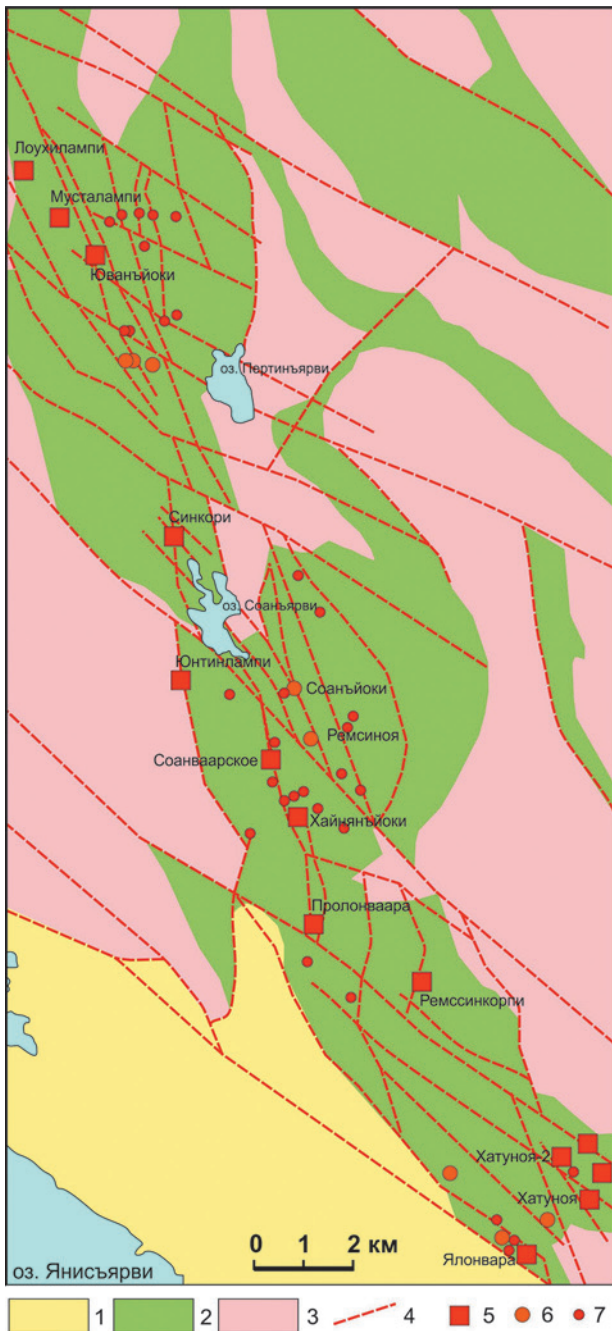


Рис. 8. Схема геологического строения российской части архейского зеленокаменного пояса Иломантси-Хатту-Ялонвара (Соанлахтинская поисковая площадь), по [Юдин и др., 2008] с изменениями:

1 – палеопротерозой (вулканогенно-терригенные комплексы ливия, людиковия и ятулия); 2 – лопийский зеленокаменный комплекс (вулканиты, осадки, «внутренние» гранитоиды санукитоидного типа); 3 – архей (нерасчлененный комплекс гнейсов, гнейсогранитов и гранитоидов); 4 – тектонические нарушения (преимущественно сдвигового характера); 5–7 – золоторудные объекты: 5 – проявления с апробированными прогнозными ресурсами, 6 – проявления и пункты минерализации, 7 – геохимические аномалии золота и элементов-спутников

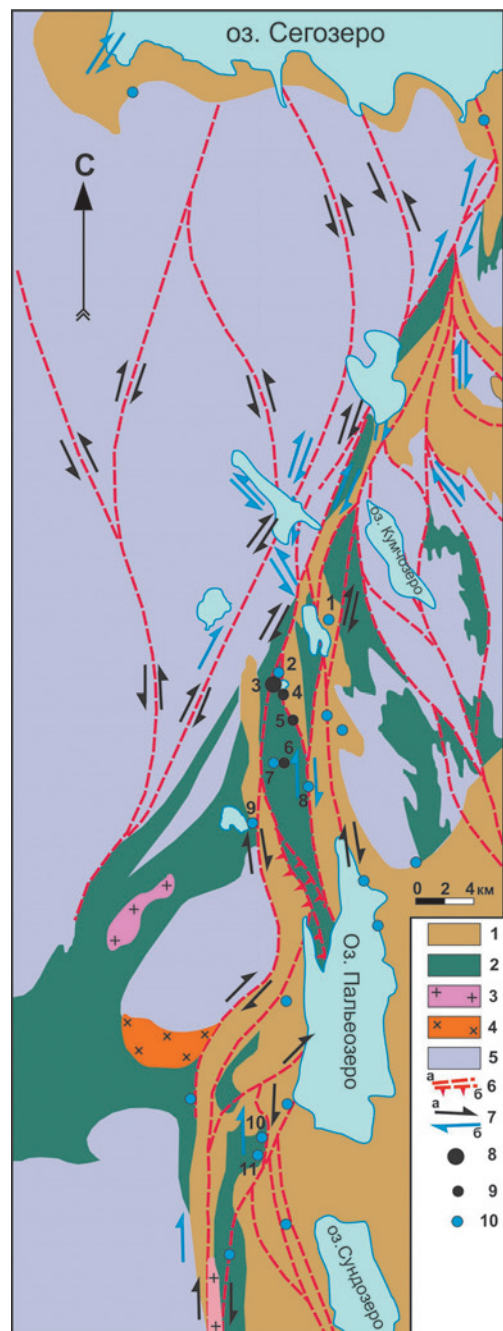


Рис. 9. Структурно-геологическая схема южной части Койкарско-Выгозерской региональной сдвиговой зоны, по [Колодяжный, 2006; Булавин и др., 2013 и др.] с дополнениями:

1 – палеопротерозой: сумий – андезибазальты, сариолий – конгломераты, ятулий – кварцитопесчаники, базальтоиды, людиковий – вулканиты основного состава, осадки; 2–5 – архей: 2 – лопийские зеленокаменные комплексы, 3 – плагиомикроклиновые граниты, 4 – диориты, 5 – гнейсограниты, гнейсы, мигматиты; 6 – разрывные нарушения: а – сдвиги, б – надвиги; 7 – направления сдвиговых перемещений: а – ранние (AR?), б – поздние (PR); 8–10 – золоторудные объекты (преимущественно орогенного типа): 8 – месторождения, 9 – проявления, 10 – пункты минерализации; число у значка – название проявления: 1 – Орехозеро, 2 – Кюняшельга, 3 – Педролампи, 4 – Южка, 5 – Гавшланноя, 6 – Талпус, 7 – Гранит, 8 – Пальеозерское, 9 – Эльмус, 10 – Карьер Койкары, 11 – Койкарское

(см. рис. 1). Впоследствии сдвиговые зоны неоднократно подновлялись, обеспечивая тепло- и массоперенос из глубинных геосфер и способствуя в благоприятных обстановках, к каковым относятся участки развития колчеданного оруденения – своеобразного «коллектора» благородных металлов, образованию золотометалльной минерализации орогенного мезотермального типа. В вертикальном строении региональных сдвиговых зон отмечается несколько уровней магмогенерации и интрузивного магматизма, начиная с мантийно-корового, но прямой генетической связи золоторудной минерализации с определенными интрузиями не устанавливается. Однако слабо эродированные рудные объекты орогенного мезотермального типа обычно пространственно ассоциируют с субвулканическими и гипабиссальными интрузиями или дайками среднего и кислого состава (Пампало, Суурикуусикко, Хатуноя, Пякюля и др.), отвечающими верхнекоровому уровню магмообразования в сдвиговых зонах.

Отдельные региональные сдвиговые зоны в архейских зеленокаменных поясах изменчивы по латерали, характеризуясь неравномерным распределением изофациальных метасоматитов и однотипной, но значительно отличающейся содержанием золота, рудной минерализации, что вызвано, вероятно, их тектоно-метасоматической проработкой в протерозое, обусловившей в конечном итоге вскрытие на современном эрозионном срезе разных глубинных уровней архейской орогенной золоторудной системы и ее частичную реювенацию. По состоянию изученности наиболее четко это проявлено в Койкарско-Выгозерской сдвиговой зоне (рис. 9), где отмечается вариативность РТ-параметров формирования орогенных мезотермальных золоторудных объектов, влияющая на их продуктивность.

Койкарско-Выгозерская региональная сдвиговая зона шириной ~5–8 км прослеживается в субмеридиональном направлении более чем на 100 км [Колодяжный, 2006] в вулканогенно-осадочных и интрузивных комплексах архея и протерозоя. В ее пределах локализовано орогенное мезотермальное месторождение золота Педролампи, несколько идентичных по генезису золоторудных (Талпус, Эльмус, Орехозеро, Гавшламная) и золотосодержащих (Карьер Койкары) проявлений, гетит-гематитовое проявление золота Южка [Булавин и др., 2013], а также ряд серноколчеданных (Койкарское, В. Эльмус, Талпус) и золото-урановых (Черное) рудных объектов. Сдвиговая зона осложнена разновозрастными (AR-PR)

системами разломов ССВ, субмеридионального и СЗ направлений и сдвиговыми дислокациями более низкого порядка, контролирующими золоторудные месторождения и проявления (см. рис. 9).

Все золоторудные объекты Койкарско-Выгозерской зоны приурочены к верхним частям разреза Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Они относятся к трем минеральным типам – золото-пиритовому, золото-арсенопиритовому, золото-гетит-гематитовому и сходны по сопутствующим минеральным ассоциациям (сульфиды Cu, Ni, Zn, Pb, сульфоарсениды Co, Ni, Fe, сульфоантимониды, в меньшей степени Pb-Sb сульфосоли и висмутотеллуриды) и доминирующим метасоматитам (хлоритовые пропилиты). Пространственно они тяготеют к зонам развития более раннего колчеданного оруденения. Морфогенетические особенности рудной минерализации на этих проявлениях сложны и неоднозначны, отражая неравномерное пульсационное просачивание флюидов в сдвиговой зоне и, возможно, многоэтапность и полихронность ее формирования. Этим же, видимо, объясняется и крайне неравномерное и ограниченное развитие кварц-серцитовых и турмалинсодержащих метасоматитов и березитов.

Свидетельством тектоно-метасоматической проработки Койкарско-Выгозерской зоны в протерозое, по-видимому, являются также различия РТ-параметров формирования золотонесущих метасоматитов на разных рудных объектах в пределах данной зоны.

Золотосодержащее проявление «Карьер Койкары» [Иващенко и др., 2014], расположенное на юге Койкарско-Выгозерской зоны, формировалось при резко варьирующих температуре и давлении, соответственно от 140 до >500 °С (геотермометры: хлоритовый, кобальтиновый, анкерит-сидеритовый, арсенопиритовый и др.) и 1–6 кбар (геобарометры: доломит-кальцитовый, сфалеритовый). Об относительно высокотемпературных и высокobarных условиях формирования рудных метасоматитов на этом проявлении свидетельствует и широкое распространение в них маргарита. Выделение золота самородного и электрума происходило при температуре 254–370 °С (электрум-сфалеритовый термометр). Еще более высокую температуру кристаллизации электрума (360–460 °С) дает этот термометр для месторождения Педролампи при условии, что по хлоритовому термометру температура образования кварц-хлоритовых метасоматитов главной рудной зоны здесь 290–390 °С. Примерно в этом же интервале температур (300–350 °С)

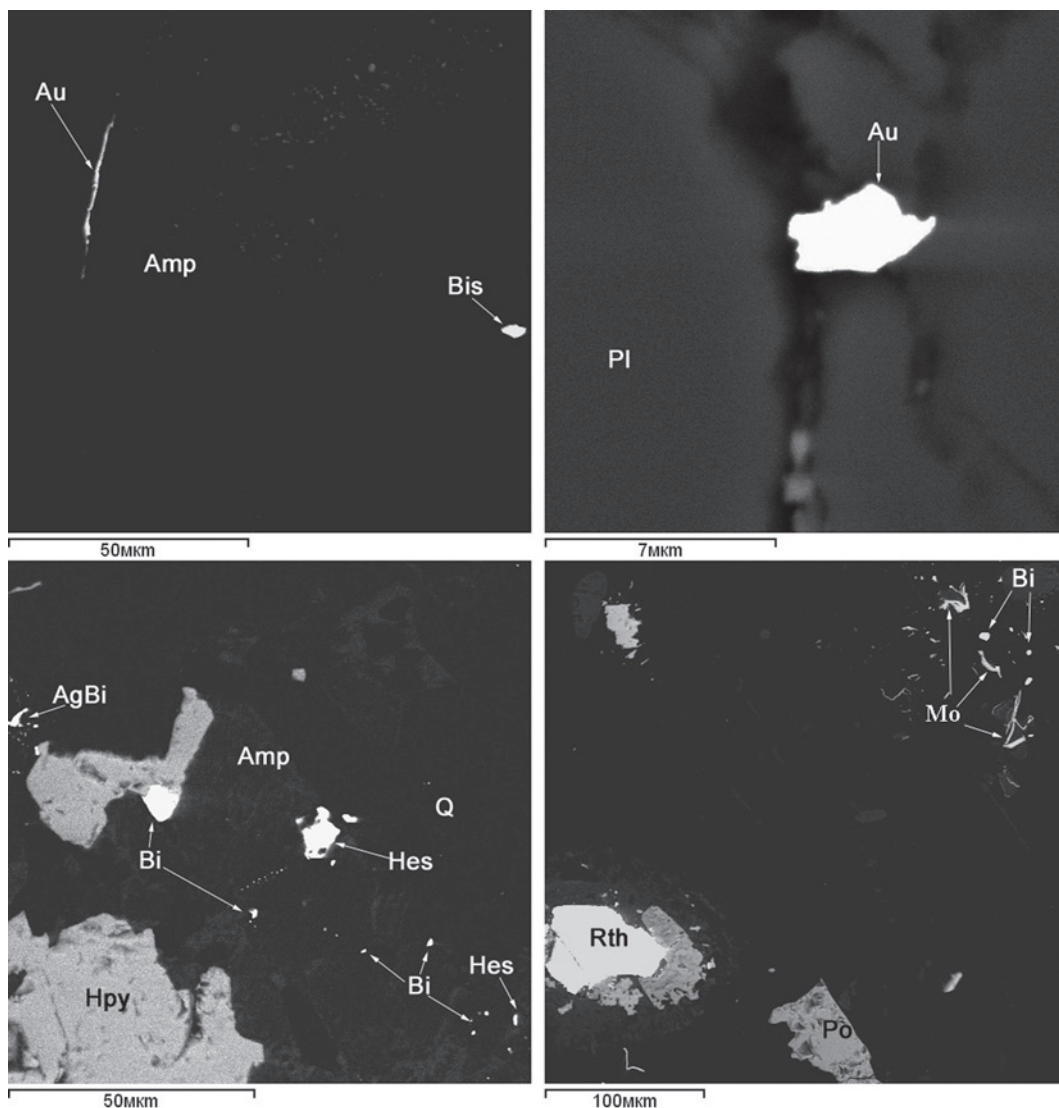


Рис. 10. Уран-благороднометалльная минерализация в апоскарновых метасоматитах Латвасюрья:

Au – золото самородное, AgBi – серебросодержащий висмут самородный, Hes – гессит (Ag_2Te), Rth – резерфордин ($UO_2(CO_3)$), Bi – висмут самородный, Bis – висмутин, Mo – молибденит, Hpy – халькопирит, Po – пирротин, Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Amp – амфибол

формировались метасоматиты на проявлении Эльмус.

Намечающаяся вариативность РТ-параметров формирования орогенного оруденения золота в Койкарско-Выгозерской сдвиговой зоне рассматривается как один из действенных критериев ее прогнозно-металлогенической оценки. В этом аспекте наиболее перспективными по РТ-условиям образования золотоносных метасоматитов и их минеральному составу, помимо месторождения Педролампи, представляются проявления Талпус и Койкарское колчеданное, где на последнем впервые [Иващенко и др., 2014] установлена Ag-Au минерализация и индикаторная сопутствующая ей арсенидная, селено-теллуридная и антимонидная.

Ресурсный потенциал собственно золоторудных объектов в Карельском регионе определяют месторождения и проявления орогенного мезотермального и порфирирового типов. По запасам это порядка 50 т, по прогнозным ресурсам – $n100$ т золота. Нарращивание золоторудного потенциала региона может произойти за счет открытия соответствующих объектов новых нетрадиционных типов оруденения. В первую очередь железооксидного с медью и золотом – IOCG-типа и золото-уранового – типа Ромпас.

Пункты минерализации IOCG-типа установлены в метапироксенитах массива Вялимяки (Приладожье) [Иващенко, Лавров, 1997]. Золото-урановые проявления, по геологическим

и минеральным особенностям в какой-то степени сходные с уникальным (содержание Au – до 33,2 кг/т, U – до 56,6 %) уран-золоторудным месторождением Ромпас в палеопротерозойском сланцевом поясе Перяпохья в Финляндии [Cathelineau et al., 2013 и др.], выявлены в Приладожье в северо-восточном крыле Кирьяволахтинского гнейсо-гранитного купола (Поткулампи и др.) и северном обрамлении Латвасюрского купола (С. Латвасюрья). На последнем рудопроявлении в зоне (мощность 5–8 м) апоскарновых метасоматитов (хлорит, амфибол, кварц, цоизит, пренит, альбит, реликты скарновых минералов) установлена висмут-уран-благороднометалльная минерализация (рис. 10), представленная рассеянной вкрапленностью пирротина, пирита, сфалерита, галенита, шеелита, молибденита, арсенопирита (Ni – 1,4 %, Co – 5 %), висмута (Ag – до 15 %), серебра и золота самородных, электрума, урванцевита, гессита, акантита, резерфордина, коффинита, уранинита, торита, висмутита (Ag – до 5 %), бисмутита, чилуита, икунолита, теллуруневскита. Золото мелкодисперсное (2–50 мкм), минералы урана более крупные (10–100 мкм).

Выводы

1. Перспективы наращивания ресурсной базы золота и платиноидов в Карельском регионе связываются как с известными в его пределах ведущими генетическими типами благороднометалльного оруденения (мало-сульфидный Pt-Pd в расслоенных плутонах и габбродолеритах, Cu-U-Mo-V-Pt-Pd-Au полигенный – падминский, золоторудный орогенный мезотермальный, комплексный золото-порфиновый), так и с нетрадиционными, новыми для него (стратиформным черносланцевым, железоксидным с медью и золотом – ЮСГ, золото-урановым – типа Ромпас).
2. Выявление стратиформной платинометалльной минерализации в углеродсодержащих (шунгитовых) сланцах в совокупности с установленным повышенным содержанием золота в них и масштабами распространения свидетельствует о существенном благороднометалльном ресурсном потенциале черносланцевых комплексов Заонежья.
3. Установленные минералого-геохимические индикаторы благороднометалльного рудогенеза в палеопротерозойских траппах Карелии будут способствовать эффективной металлогенической оценке промышленно-рудоносных интрузий Пудожгорского магматического комплекса и их формационно-возрастных аналогов.
4. Систематизация комплекса данных по выявленным в российской части архейского зеленокаменного пояса Иломантси-Хатту-Ялонвара проявлениям золота показала, что наиболее перспективными из них являются золоторудные объекты орогенного и порфирового типов.
5. Намечающаяся вариативность РТ-параметров формирования орогенного оруденения золота в Койкарско-Выгозерской сдвиговой зоне представляется как один из действенных критериев ее прогнозно-металлогенической оценки. В этом аспекте наиболее перспективными по РТ-условиям образования золотоносных метасоматитов и их минеральному составу, помимо месторождения Педролампи, могут быть также проявления Талпус и Койкарское колчеданное, где на последнем впервые установлена Ag-Au-минерализация и индикаторная сопутствующая ей арсенидная, селено-теллуридная и антимонидная.
6. Выявление новых для Карелии типов благороднометалльного оруденения в метапироксенитах Кааламского массива и апоскарновых метасоматитах Латвасюрского гнейсогранитного купола раскрывает новые металлогенические перспективы Северного Приладожья и предопределяет необходимость его соответствующего доизучения.
7. Получение новых геолого-генетических и минералого-геохимических данных по благороднометалльному оруденению ряда районов Карелии будет способствовать выявлению перспективных рудопроявлений и установлению главных рудоконтролирующих факторов на известных золоторудных объектах, способствуя их переводу в промышленную категорию, что благоприятно скажется на инвестиционном климате в горнорудном секторе экономики Республики Карелия.

Статья подготовлена по результатам работ по подпроекту 1.1.8б раздела 1 «Оценка и развитие ресурсной базы стратегического минерального сырья, необходимого для модернизации экономики России» Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 27 «Фундаментальный базис инновационных технологий прогноза, оценки добычи и глубокой комплексной переработки стратегического минерального сырья, необходимого для модернизации экономики России» (координаторы: ак. Леонтьев Л. И., ак. Рундквист Д. В.) 2012–2013 гг.

Литература

Ахмедов А. М., Воинова О. А., Калабашкин С. П. и др. Компьютерная карта золотоносности докембрия Карельского региона масштаба 1:1 000 000: Анализ перспектив // Региональная геология и металлогения. 2001. № 13–14. С. 84–104.

Билибина Т. В., Мельников Е. К., Савицкий А. В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геол. рудных месторождений. 1991. № 6. С. 3–14.

Богачев В. А., Иваников В. В., Крымский Р. Ш. и др. Изохронный Re-Os возраст молибденитов раннедокембрийских порфириновых месторождений Карелии // Вестник СПб. 2013. Вып. 2, сер. 7. С. 3–20.

Булавин А. В., Добрынина Д. Н., Олейник И. Л. Новые данные о золотоносности Эльмусской площади (Центральная Карелия) // Золото Фенноскандинавского щита: материалы междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 33–36.

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

Иващенко В. И., Лавров О. Б. благороднометальное оруденение Юго-Западной Карелии // Проблемы золотоносности и алмазности севера европейской части России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1997. С. 44–51.

Иващенко В. И., Голубев А. И., Ибрагимов М. М., Ромашкин А. Е. Золотосодержащее оруденение архея Койкарской структуры: генетическая типизация, минеральные ассоциации, условия образования, перспективы // Труды КарНЦ РАН. 2014. № 1. С. 39–55.

Иващенко В. И., Ручьев А. М., Голубев А. И. Два типа благороднометальной минерализации в Кааламском массиве (Карелия) // Доклады Академии наук. 2016. Т. 468, № 2. С. 183–188.

Клюнин С. Ф. Отчет о результатах поисковых работ на благородные металлы с попутными поисками алмазов и других полезных ископаемых в пределах Олангской группы массивов, проведенных в 1987–1993 г. // ТГФ. Мончегорск, 1994.

Колодяжный С. Ю. Структурно-кинематическая эволюция юго-восточной части Балтийского щита в палеопротерозое // Тр. ГИН РАН. М.: Геос, 2006. Вып. 572. 332 с.

Коровкин В. А., Турылева Л. В., Руденко Д. Г. и др. Недр Севера-Запада Российской Федерации. СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. 520 с.

Кулешевич Л. В., Тытык В. М. Метаморфогенно-метасоматические преобразования и Au-S-As минерализация месторождения Новые Пески (Южная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. Вып. 17. С. 59–73.

Лавров О. Б. Благороднометалльная минерализация Cu-S руд Кааламского массива // Золото Фенноскандинавского щита: материалы междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 112–116.

Ларионова Ю. О. Изотопная геохимия и геохронология золоторудной минерализации в архейских и палеопротерозойских комплексах Карелии: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2008. 20 с.

Логонов В. Н., Гриневич Н. Г., Дегтярев Н. К. и др. Оценка рудного потенциала Бураковской расчлененной интрузии и ее обрамления: тез. симп. «Minex». Петрозаводск, 2007.

Мельников Е. К., Шумилин М. В. О возможной модели образования уран-ванадиевых месторождений с благородными металлами в Онежском районе (Карелия) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1995. № 6. С. 31–37.

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

Полеховский Ю. С., Кацнельсон А. Б. Селенидная минерализация Заонежского полуострова (Республика Карелия) // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии: материалы XXVI молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти член-корр. АН СССР К. О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова. (Петрозаводск, 12–16 окт. 2015). Петрозаводск, 2015. С. 71–74.

Степанов К. И., Путинцева Е. В., Мурадымов Г. Ш. и др. Отчет «Производство поисковых работ в пределах Сортавальской площади (поиски медно-никелевых, полиметаллических и золоторудных месторождений)» // Фонды ТГФ РК. Петрозаводск, 2004. 216 с.

Черников А. А. Глубинный гипергенез, минерало- и рудообразование. М.: Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, 2001. 99 с.

Юдин С. Н., Папулов В. Ф., Магницкая Т. Э. и др. Отчет. Поисковые работы на золото на Соанлахтинской перспективной площади (Республика Карелия) // Фонды ТГФ РК. Петрозаводск, 2008. 216 с.

Borozdin A. P., Petrov S. V., Polekhovsky Yu. S. et al. The mineral assemblage of Au-PGE-Cu-V-Ti-Fe ores in the vikshozero ore occurrence (Koykar sill, South Karelia, Russia) // 12th International Platinum Symposium. Abstracts (Edited by Anikina, E. V. et al.). Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, 2014. P. 63–64.

Cathelineau M., Talbot J.-Y., Boiron M.-C. et al. The atypical Au- (U) – calc-silicate hosted mineralization of Rompas (Northern Finland): fluid-rock interactions and ore genesis // Mineral deposit research for a high-tech world. 12th SGA Biennial Meeting 2013. Proceedings, Vol. 4. P. 1626–1629.

Hoffman E., MacLean W. H. Phase relations of michenerite and merenskyite in the Pd-Bi-Te system // Econ. Geol. 1976. Vol. 71. P. 1461–1468.

Luck J. M., Allegre C. J. The study of molybdenites through the ¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os chronometer // Earth Planet. Sci. Lett. 1982. Vol. 61. P. 291–296.

Поступила в редакцию 11.05.2016

References

- Akhmedov A. M., Voinova O. A., Kalabashkin S. P. et al. Komp'yuternaya karta zolotonosnosti dokembriya Karel'skogo regiona masshtaba 1:1000000: Analiz perspektiv [Computer map of gold mineralization of the Precambrian in the Karelia region. Scale 1:1000000. Analysis of prospects]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya [Regional Geology and Metallogeny]*. 2001. No. 13–14. P. 84–104.
- Bilibina T. V., Mel'nikov E. K., Savitskii A. V. O novom tipe mestorozhdenii kompleksnykh rud v Yuzhnoi Karelii [On a new type of complex ores deposits in the Southern Karelia]. *Geol. rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*. 1991. No. 6. P. 3–14.
- Bogachev V. A., Ivanikov V. V., Krymskii R. Sh., Ivashchenko V. I., Belyatskii B. V., Gol'tsin N. A., Sergeev S. A. Izokhronnyi Re-Os vozrast molibdenitov rannedokembriiskikh porfirovykh mestorozhdenii Karelii [Re-Os molybdenite isochron age for the Early Precambrian porphyry deposits in Karelia]. *Vestnik SPb [Vestnik of St. Petersburg University]*. 2013. Iss. 2, ser. 7. P. 3–20.
- Bulavin A. V., Dobrynina D. N., Oleinik I. L. Novye dannye o zolotonosnosti El'musskoi ploshchadi (Tsentral'naya Kareliya) [New data on the gold potential of the Elmus area, Central Karelia]. *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita: materialy mezhdunar. konf. [Gold of the Fennoscandian Shield: Materials of the Int. Conf.]*. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. P. 33–36.
- Chernikov A. A. Glubinni gipergenez, mineralo- i rudoobrazovanie [Deep-seated hypergenesis, mineral and ore formation]. Moscow: Mineralogicheskii muzei im. A. E. Fersmana, 2001. 99 p.
- 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. 369 p.
- Ivashchenko V. I., Lavrov O. B. Blagorodnometal'noe orudnenie Yugo-Zapadnoi Karelii [Noble metal mineralization of the Southwestern Karelia]. *Problemy zolotonosnosti i almazonosnosti severa evropeiskoi chasti Rossii [Problems of Gold Mineralization and Diamond Content of the Northern European Part of Russia]*. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1997. P. 44–51.
- Ivashchenko V. I., Golubev A. I., Ibragimov M. M., Romashkin A. E. Zolotosoderzhashchee orudnenie arkheya Koikarskoi struktury: geneticheskaya tipizatsiya, mineral'nye assotsiatsii, usloviya obrazovaniya, perspektivy [Archean auriferous mineralization of the Koikary structure: genetic typification, mineral assemblages, formation conditions, prospects]. *Trudy KarNTs RAN [Trans. of KarRC of RAS]*. 2014. No. 1. P. 39–55.
- Ivashchenko V. I., Ruch'ev A. M., Golubev A. I. Dva tipa blagorodnometal'noi mineralizatsii v Kaalamskom massive (Kareliya) [Two types of noble metal mineralization in the Kaalamo Massif (Karelia)]. *Doklady Akademii nauk [Dokl. Earth Sciences]*. 2016. Vol. 468, no. 2. P. 183–188.
- Klyunin S. F. Otchet o rezul'tatakh poiskovykh rabot na blagorodnye metally s poputnymi poiskami almazov i drugikh poleznykh iskopaemykh v predelakh Olangskoi gruppy massivov, provedennykh v 1987–1993 g. [Report on the results of the research (1987–1993) for noble metals along with prospecting for diamonds and other mineral resources within massifs of the Olang group]. TGF [Territorial Geological Fund]. Monchegorsk, 1994.
- Kolodyazhnyi S. Yu. Strukturno-kinematicheskaya evolyutsiya yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita v paleoproterozoe [Paleoproterozoic structural-kinematic evolution of the South-East Baltic Shield]. *Tr. GIN RAN [Trans. of the Geological Inst.]*. Moscow: Geos, 2006. Iss. 572. 332 p.
- Korovkin V. A., Turyleva L. V., Rudenko D. G. et al. Nedra Severo-Zapada Rossiiskoi Federatsii [Mineral resources of the North-West of the Russian Federation]. St. Petersburg: VSEGEI, 2003. 520 p.
- Kuleshevich L. V., Tytyk V. M. Metamorfogenno-metasomaticheskie preobrazovaniya i Au-S-As mineralizatsiya mestorozhdeniya Novye Peski (Yuzhnaya Kareliya) [Metamorphogenic and metasomatic transformations and Au-S-As mineralization of the Novye Peski deposit (South Karelia)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii [Geology and Mineral Resources of Karelia]*. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2014. Iss. 17. P. 59–73.
- Lavrov O. B. Blagorodnometal'naya mineralizatsiya Cu-S rud Kaalamskogo massiva [Noble metal mineralization of CU-S ores from the Kaalamo Massif]. *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita: materialy mezhdunar. konf. [Gold of the Fennoscandian Shield: Materials of the Int. Conf.]*. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. P. 112–116.
- Larionova Yu. O. Izotopnaya geokhimiya i geokhronologiya zolotorudnoi mineralizatsii v arkheiskikh i paleoproterozoiskikh kompleksakh Karelii [Isotopic geochemistry and geochronology of gold ore mineralization in the Archean and Paleoproterozoic complexes of Karelia]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Min.) thesis. Moscow, 2008. 20 p.
- Loginov V. N., Grinevich N. G., Degtyarev N. K. et al. Otsenka rudnogo potentsiala Burakovskoi rassloennoi intruzii i ee obramleniya [Assessment of the ore potential of the Burakovsky layered intrusion and its margins]: Tez. simp. «Minex» [Abstracts of the Minex Symposium]. Petrozavodsk, 2007.
- Mel'nikov E. K., Shumilin M. V. O vozmozhnoi modeli obrazovaniya uran-vanadievnykh mestorozhdenii s blagorodnymi metallami v Onezhskom raione (Kareliya) [On a possible model of uranium-vanadium deposits formation of noble metals in the Onega area (Karelia)]. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka [Proceed. of Higher Schools. Geology and Prospecting]*. 1995. No. 6. P. 31–37.
- Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw material base of the Republic of Karelia]. Eds. V. P. Mikhailova, V. N. Aminova. Petrozavodsk: Kareliya, 2005. Kn. 1. 278 p.
- Polekhovskii Yu. S., Katsnel'son A. B. Celenidnaya mineralizatsiya Zaonezhskogo poluoostrova (Respublika Kareliya) [Selenide mineralization of the Zaonezhsky Peninsula (Republic of Karelia)]. *Aktual'nye problemy geologii dokembriya, geofiziki i geoekologii: materialy XXVI molodezhnoi nauchnoi shkoly-konferentsii, posvyashchennoi pamyati chlen-korr. AN SSSR K. O. Kratstva i akademika RAN F. P. Mitrofanova. (Petrozavodsk, 12–16 okt. 2015) [Current Problems of the Precambrian Geology, Geophysics, and Geoecology: Materials of*

the XXVI Scientific and Educ. Conf. of Young Scientists in Memory of K. O. Kratts, Corresponding Member of the USSR Acad. of Sci., and F. P. Mitrofanov, Member of the Acad. of Sci. (Petrozavodsk, October 12–16, 2015)]. Petrozavodsk, 2015. P. 71–74.

Stepanov K. I., Putintseva E. V., Muradymov G. Sh. et al. Otchet "Proizvodstvo poiskovykh rabot v predelakh Sortaval'skoi ploschadi (poiski medno-nikelevykh, polimetallicheskiykh i zolotorudnykh mestorozhdenii)" [Report on the research performance within Sortavala area (prospecting of copper-nickel, polymetallic, and gold deposits)]. Fondy TGF RK [Territorial Geological Fund of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk, 2004. 216 p.

Yudin S. N., Papulov V. F., Magnitskaya T. E. et al. Otchet. Poiskovye raboty na zoloto na Soanlakhtinskoi perspektivnoi ploschadi (Respublika Kareliya) [Report on the research for gold in the Soanlakhtinsky prospective area]. Fondy TGF RK [Territorial Geological Fund of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk, 2008. 216 p.

Borozdin A. P., Petrov S. V., Polekhovskiy Yu. S., Tarasova I. P., Bulavin A. V., Oleynik I. L., Bederova L. L.

The mineral assemblage of Au-PGE-Cu-V-Ti-Fe ores in the vikshozero ore occurrence (Koykar sill, South Karelia, Russia). 12th International Platinum Symposium. Abstracts (Edited by Anikina, E. V. et al.). Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, 2014. P. 63–64.

Cathelineau M., Talbot J.-Y., Boiron M.-C. et al. The atypical Au- (U) – calc-silicate hosted mineralization of Rompas (Northern Finland): fluid-rock interactions and ore genesis. Mineral deposit research for a high-tech world. 12th SGA Biennial Meeting 2013. Proceedings, Vol. 4. P. 1626–1629.

Hoffman E., MacLean W. H. Phase relations of michenerite and merenskyite in the Pd-Bi-Te system. *Econ. Geol.* 1976. Vol. 71. P. 1461–1468.

Luck J. M., Allegre C. J. The study of molybdenites through the ¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os chronometer. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1982. Vol. 61. P. 291–296.

Received May 11, 2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Голубев Анатолий Иванович

заведующий 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

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

CONTRIBUTORS:

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

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