

В. И. ИВАЩЕНКО (ИГ КарНЦ РАН), К. А. КОНЕВИН (ООО «Индустрия»)

Благороднометалльное оруденение протерозойских габбродолеритовых интрузий Мотко и Куолисма (Карелия)

Приведены результаты исследований протерозойских габбродолеритовых интрузий Мотко (2274 ± 3 млн лет) и Куолисма (1960 ± 2 млн лет) в Центральной Карелии. Кратко охарактеризованы их геологическое строение, степень дифференциации, состав пород. Показано, что благороднометалльное оруденение пространственно совмещено с титаномagnetитовым горизонтом и сопряжено с формированием меднорудной сульфидной минерализации. Минералы металлов платиновой группы представлены преимущественно висмутотеллуридами, арсенидами и стиббиоарсенидами палладия и платины с доминированием котульскита и сперрилита. Минералами-индикаторами благороднометалльного оруденения служат халькопирит, борнит и хлорсодержащий (до 5,5 %) феррогастингсит. При дополнительном изучении рудопроявления могут оказаться экономически значимыми.

Ключевые слова: Карелия, протерозой, габбродолеритовый магматизм, Fe-Ti-V-PGE-Au минерализация, минералы-индикаторы оруденения, Cl-амфибол, фаялит.

V. I. IVASHCHENKO (IG KarRC RAS), K. A. KONEVIN (OOO «Industriya»)

Noble metal mineralization of Motko and Kuolisma Proterozoic gabbrodolerite intrusions (Karelia)

Results of studies of Proterozoic gabbrodolerite intrusions of Motko (2274 ± 3 Ma) and Kuolisma (1960 ± 2 Ma) in Central Karelia are reported. A brief description of their geological structure, degree of differentiation and rock composition is given. It is shown that noble metal mineralization is spatially combined with titanomagnetite horizon and associated with the formation of copper-sulfide mineralization. Platinum group metal minerals are mainly represented by palladium and platinum bismuthotellurids, arsenids and stibbioarsenids with kotulskite and sperrylite being dominant. Chalkopyrite, bornite and chlorine-containing (up to 5.5 %) ferrogastingsite are indicator minerals of noble metal mineralization. Ore occurrences can be economically significant after additional appraisal.

Keywords: Karelia, Proterozoic, gabbrodolerite magmatism, Fe-Ti-V-PGE-Au mineralization, ore indicator minerals, Cl-amphibole, fayalite.

Для цитирования: Иващенко В. И., Коневин К. А. Благороднометалльное оруденение протерозойских габбродолеритовых интрузий Мотко и Куолисма (Карелия) // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 97–105.

Введение. Благородные металлы являются стратегическим минеральным сырьем, остро востребованным в настоящее время как во многих современных наукоемких отраслях промышленности, так и валютно-банковском секторе мировой экономики. В последние годы мировой рынок благородных металлов претерпел резкие ценовые изменения, особенно значительные для палладия, широко используемого в производстве автомобильных катализаторов. Автопром вынужден выполнять требования по уменьшению вредных выбросов, а альтернативы палладиевым катализаторам в ближайшем будущем не предвидится. Цены на палладий возросли почти в четыре раза и стали выше, чем на золото и платину. При этом в 2018 и 2019 гг. спрос на палладий превысил его производство на 1,2–1,4 млн тройских унций [13], что, несомненно, предопределяет высокую

вероятность дальнейшего роста его цен и по окончании мирового экономического кризиса. В этой связи ряд рудных объектов на территории Карелии [2–5; 11] с невысокими средними содержаниями (~ 1 г/т) металлов платиновой группы (МПГ) и Pd/Pt (1,5–3,0) может представлять экономический интерес. Наиболее перспективны из них комплексные (Fe, Ti, V, Pt, Pd, Au, Sc) месторождения и проявления, связанные с протерозойским габбродолеритовым магматизмом. Для них характерно простое геологическое строение (стратифицированные рудные горизонты, протягивающиеся на несколько километров), пространственная совмещенность титаномagnetитового и благороднометалльного оруденения, контрастная выраженность в магнитном поле. В совокупности это положительно сказывается на результативности и экономической эффективности проводимых

поисково-оценочных и разведочных работ, что нашло свое подтверждение при разведке компанией «Полиметалл» месторождения Викша, завершившейся утверждением в Государственной комиссии по запасам ресурсов в количестве 213 млн т руды со средним содержанием $\Sigma Pt, Pd, Au - 0,98$ г/т, $Pd/Pt = 3$ [5].

Кроме месторождений Викша и Пудожгорского на территории Карелии выявлено несколько тождественных им рудопроявлений [3; 4]. Результатам исследований двух из них – Мотко и Куолисма – посвящена настоящая статья.

Аналитические исследования выполнялись с использованием современного научного оборудования – сканирующего электронного микроскопа SEM VEGA II LSH с энергодисперсионным микроанализатором INCA ENERGY 350, лазерного микроскопа Color 3D Laser Microscope Keyence VK-9710K, ICP-MS, ЭПР (ИГ КарНЦ РАН). Определения Pt, Pd, Au осуществлялись пробирно-атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES) методом (ОАО «Иргиредмет», Иркутск) и пробирным химическим (ООО «Стюарт Геокемикл Энд Эссей», Москва). Изотопные исследования по определению возраста произведены в ИГГД РАН.

Рудопроявление Мотко. Локализовано в одноименном пластовом интрузиве, расположенном в Центральной Карелии в Лубосалминской синклинорной структуре, сложенной метаосадочной толщей (конгломераты, песчаники, кварциты) янгозерской свиты ятулия. На современном эрозионном срезе площадь выхода интрузива составляет около 30 км² (рис. 1). Его средняя мощность около 350 м, углы падения контактов – от 30° в юго-восточной части до 50° в северо-западной. Интрузив осложнен тектоническими дислокациями, складчатостью, автотомасоматическими преобразованиями, в совокупности сглаживающими его исходное дифференцированное строение.

В подошве интрузива развиты массивные тонко-мелкозернистые меланократовые габбро, постепенно сменяющиеся вверх по разрезу средне- и крупнозернистыми габбро, габбро-диоритами, диоритами. Они обладают сходным первичным минеральным составом (плаггиоклаз № 40–60, роговая обманка, клинопироксен), отличаясь преимущественно только количественными соотношениями главных породообразующих минералов, развивающихся по ним поздних минеральных ассоциаций, а также содержаниями магнетита, ильменита и сульфидов.

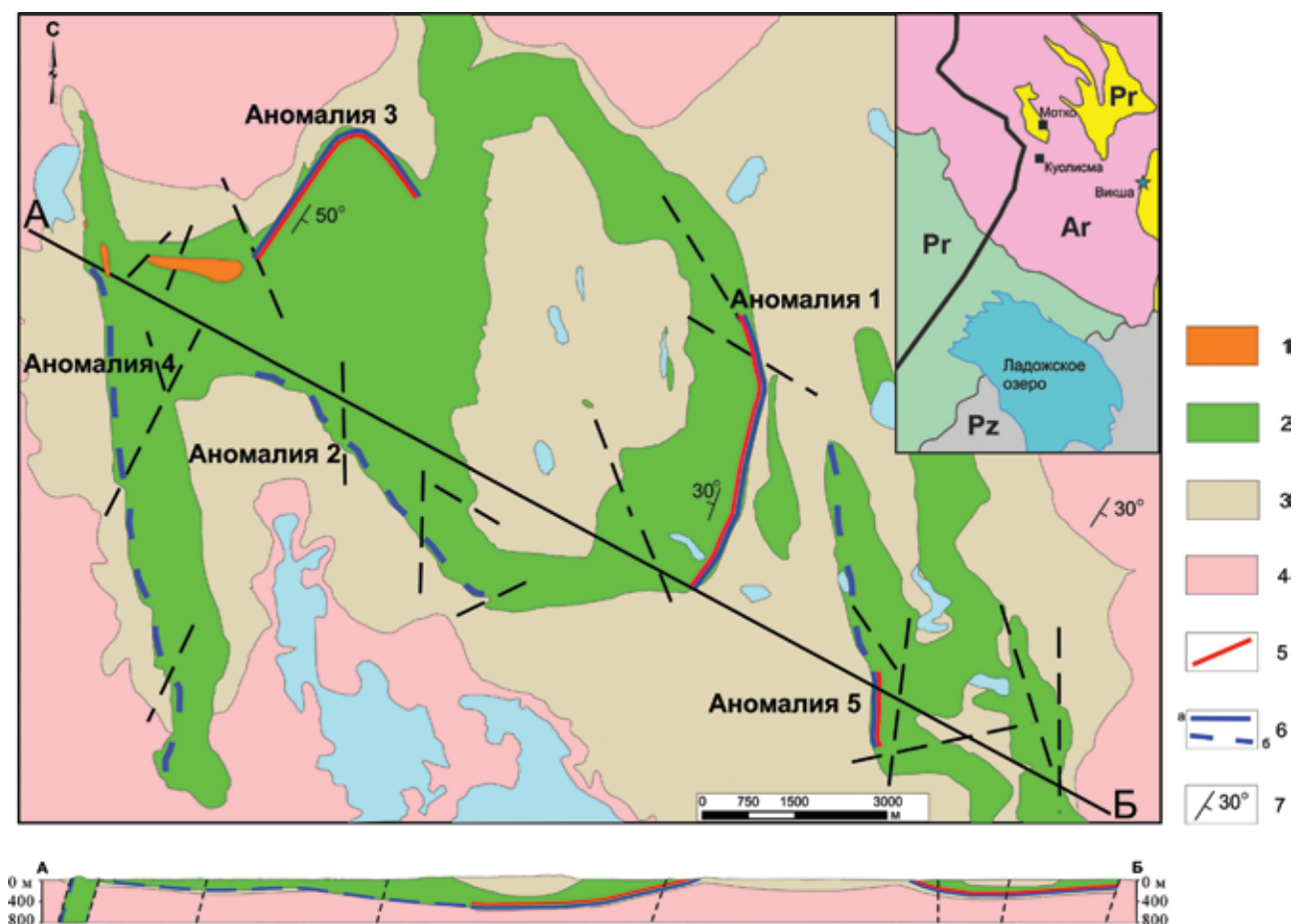


Рис. 1. Схема геологического строения интрузива Мотко [4]

1–3 – протерозой: 1 – диориты, кварцевые диориты, гранодиориты, 2 – габбродиориты, габбро, габбропироксениты, 3 – кварциты, кварцитопесчаники, песчаники (янгозерская свита ятулия); 4 – архей, нерасчлененный гранито-гнейсовый комплекс; 5 – зона благороднометалльного оруденения; 6 – титаномангнетитовый горизонт (а – установленный, б – предполагаемый); 7 – элементы залегания пород

Все породы интенсивно амфиболизированы и альбитизированы, местами подверглись эпидотизации и окварцеванию. Первичный клинопироксен ($Mg\# 0,60-0,80$) сохранился только в реликтах. Замещающие его амфиболы (актинолит и феррогастингсит), хлорит, биотит характеризуются более высокой железистостью ($Fe\# \geq 0,5$). Это и наличие магнетитовой вкрапленности практически во всех породах интрузива вплоть до образования рудного горизонта в его приподошвенной части обусловило контрастное выделение интрузива Мотко в магнитном поле, облегчившее проведение поисково-оценочных и разведочных работ.

Наиболее интенсивные аномалии наблюдаются в местах выходов на дневную поверхность рудного титаномагнетитового горизонта. Всего выявлено пять таких аномалий (рис. 1), три из них (1, 3, 5) были заверены горно-буровыми работами (ООО «Индустрия») и исследованы до глубины 300 м.

Рассеянный рудный титаномагнетитовый горизонт мощностью 4–6 м залегает в 40–60 м от подошвы интрузива, приурочиваясь к переходной зоне меланократовых габбро к габбро или габбродолеритам. Титаномагнетитовое оруденение практически на всем протяжении рудного горизонта сопровождается пирит-халькопиритовой минерализацией и ассоциирующимися с ней минералами МПГ и золотом. Содержание сульфидов обычно не превышает 1 %, а меди соответственно – 0,2 %, и только в контурах аномалии 2 установлены содержания меди 0,2–2,0 % на мощность 0,5 м.

Зона с благороднометалльным оруденением ($Pd_y > 1$ г/т) мощностью от 1 до 3 м пространственно совмещена с титаномагнетитовым горизонтом и сопровождается ореолом меднорудной минерализации ($Cu > 0,1$ %) шириной до 12 м. В разрезе интрузива от кровли к подошве проявлена рудно-геохимическая зональность Пудожгорско-Койкарского типа: слабые геохимические аномалии Cu (0,03–0,1 %) → меднорудная зона ($Cu > 0,1$ %) → титаномагнетитовый рудный горизонт, совпадающий с благороднометалльным.

В северо-западной части интрузива в зоне проявленных дизъюнктивных и пликативных деформаций (рис. 1) рудный горизонт залегает почти вертикально, что предопределяет высокую вероятность нахождения здесь, в замыкании структуры, оруденения офсетного типа с более высокими содержаниями благородных металлов, как это отмечается на некоторых сходных рудных объектах в других регионах [1; 15].

В пределах рудного горизонта установлены три главные последовательно образовавшиеся минеральные ассоциации (\pm второстепенные рудные минералы): ильменит-титаномагнетитовая, пирит-халькопиритовая и благороднометалльная.

В наиболее ранней (позднемагматическая стадия) ассоциации титаномагнетит представлен преимущественно октаэдрическими кристаллами

со структурами распада твердого раствора, в которых ильменитовая фаза полностью замещена титанитом. Ильменит в рудах сохранился только в виде обособленных ксеноморфных частично замещенных титанитом выделений. Это замещение происходило, вероятно, синхронно с образованием халькопирита каймами халькозина уже в гидротермальную стадию.

Благороднометалльная минерализация, представленная на рис. 2, – золото, висмутотеллуриды, арсениды и стибииарсениды Pd и Pt, реже минеральные фазы высокотемпературных платиноидов (Ir, Os, Ru) – ассоциируется с сульфидами меди и высокожелезистым Cl-содержащим (до 1 %) амфиболом (феррогастингсит). Доминируют сперрилит и котульскит. Размерность этих минералов преимущественно 3–8 мкм.

Содержание $\Sigma Pt, Pd, Au$ в рудной зоне интенсивно изменяется – 0,1–1,3 г/т, Pd/Pt – 0,8.

Согласно действующим нормативным документам [16], прогнозные ресурсы благороднометалльного оруденения на основании имеющихся аналитических и геолого-геофизических данных оценены по кат. P₂ на глубину 150 м в количестве 62 т [4].

По современным требованиям к сырью такого рода [8], титаномагнетитовое оруденение интрузива является некондиционным.

Рудопроявление Куолисма. Расположено в Западно-Карельской структурно-формационной зоне Карельского кратона (рис. 1), локализуясь в приподошвенной части габбродолеритового интрузива протерозойского возраста. Интрузив прорывает разновозрастные архейские гранитные комплексы и вулканогенно-осадочные толщ Ялонвара-Хатту-Лендерского зеленокаменного пояса (рис. 3).

Это типично трещинная интрузия протяженностью около 17 км и мощностью 250–300 м контролируется тектонической зоной северо-западного простирания, подчеркивающейся четко выраженной гравитационной ступенью.

Интрузив Куолисма в магнитном поле отображается линейно-вытянутой положительной аномалией интенсивностью 500–1500 нТл, обусловленной как повсеместным наличием в его породах значительных количеств магнетита и титаномагнетита, так и повышенной железистостью всех фемических порообразующих минералов. Для интрузива характерно сложное дифференцированное строение с отчетливой сменой средне-крупнозернистых габбро в его центральной части средне-мелкозернистыми габбродолеритами в краевой, а также неоднократное их фациальное чередование с участием габброноритов и габбропироксенитов. Все породы подверглись в различной степени проявленным аутометасоматическим изменениям (амфиболизации, альбитизации, пренитизации, эпидотизации, хлоритизации, карбонатизации), а в некоторых местах калишпатизации и окварцеванию, вероятно, связанным с наложенными

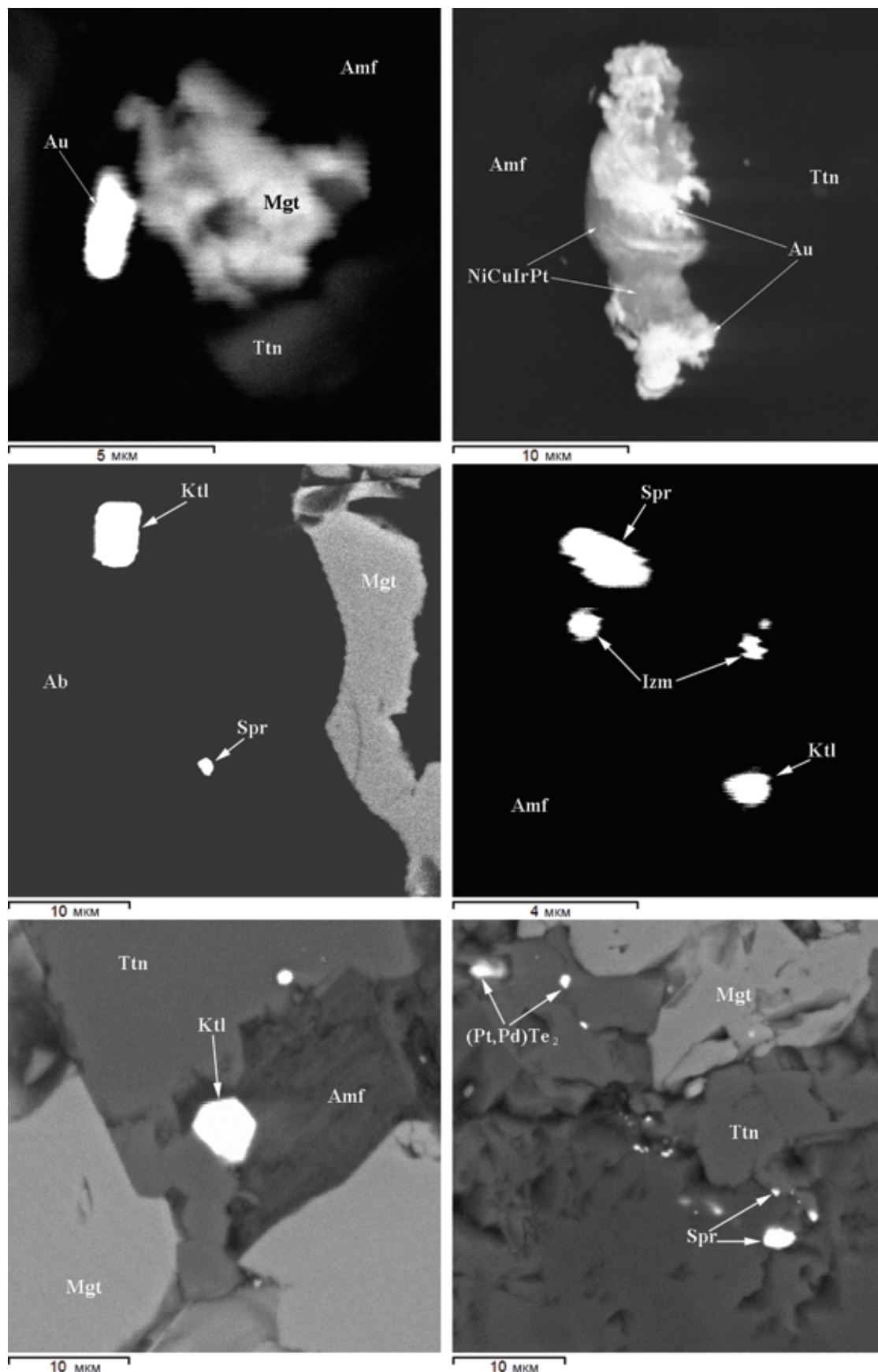


Рис. 2. Благороднометалльная минерализация интрузива Мотко. BSE-фото
 Ab – альбит; Amf – амфибол; Au – золото; Izm – изомертиит, $Pd_{11}Sb_2As_2$; Ktl – котульскит, $PdTe$;
 Mgt – магнетит; Spr – сперрилит, $PtAs_2$; Ttn – титанит

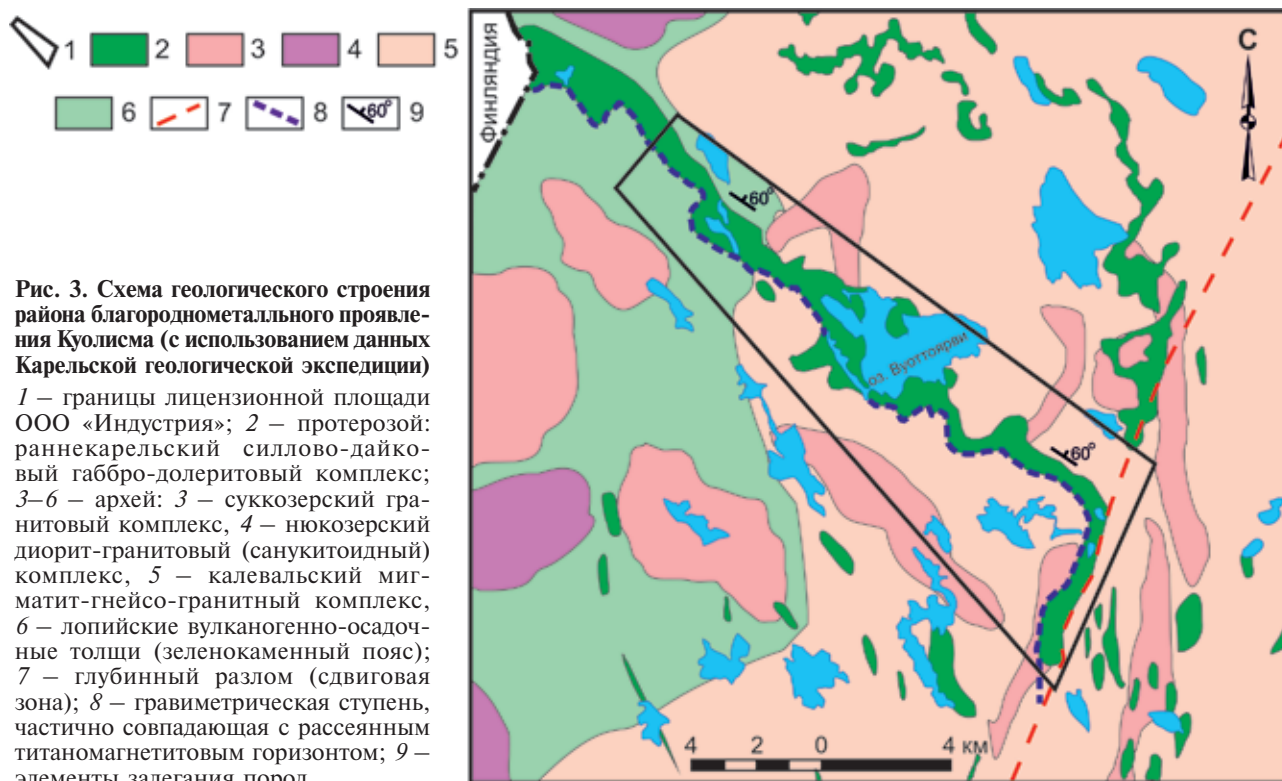


Рис. 3. Схема геологического строения района благороднометалльного проявления Куолиσμα (с использованием данных Карельской геологической экспедиции)

1 – границы лицензионной площади ООО «Индустрия»; 2 – протерозой: раннекарельский силлово-дайковый габбро-долеритовый комплекс; 3–6 – архей: 3 – суккозерский гранитовый комплекс, 4 – нюкозерский диорит-гранитовый (санукитоидный) комплекс, 5 – калевальский мигматит-гнейсо-гранитный комплекс, 6 – лопийские вулканогенно-осадочные толщи (зеленокаменный пояс); 7 – глубинный разлом (сдвиговая зона); 8 – гравиметрическая ступень, частично совпадающая с рассеянным титаномагнетитовым горизонтом; 9 – элементы залегания пород

процессами. В целом дифференциаты интрузива по петрогеохимическим параметрам тождественны породам Пудожгорского и Койкарского силлов.

Титаномагнетитовое и сопряженное с ним благороднометалльное оруденение сосредоточено преимущественно в габброноритах и габбропироксенитах как в приподошвенной части интрузива, так и выше по разрезу в соответствии с особенностями его дифференцированного строения, отличающегося невыдержанным характером по простиранию. Рудная минерализация так же, как и на проявлении Мотко и месторождении Викша [5], представлена тремя последовательно образовавшимися минеральными ассоциациями – ильменит-титаномагнетитовой, медно-сульфидной и благороднометалльной. Последняя отличается большим видовым разнообразием по сравнению с проявлением Мотко. Кроме общих для обоих проявлений сперрилита, котульскита, мергитита 1, меренскита и самородного золота в рудах Куолиσμα распространены палластанид, теллурупалладинит, собольскит, брэггит, ферроплатина, самородные платина и серебро и такие редкие минералы, как торнрусит и койоненит (рис. 4).

Мощность зон с благороднометалльной минерализацией изменяется от 10 см до 6–10 м, содержания ΣPt , Pd, Au по керновому опробованию – 0,2–1,0 г/т, а штупфному – 0,5–4,15 г/т. По состоянию изученности к настоящему времени прогнозные ресурсы благородных металлов на проявлении Куолиσμα не могут быть оценены с высокой достоверностью, но, учитывая масштабы интрузива ($0,3 \times 17$ км), видовое разнообразие

платиноидной минерализации и установленные высокие содержания ΣPt , Pd, Au до 4,15 г/т, они могут быть больше, чем на проявлении Мотко.

Обсуждение результатов. Высокожелезистый габбродолеритовый дайково-силловый магматизм Южной и Центральной Карелии долгое время считался ятулийским [6; 9], и только после прецизионного датирования Пудожгорского и Койкарско-Святнаволоцкого интрузивов (1,98 млрд лет) [12] и габбродолеритов района Большозера (2,23 млрд лет) [10] этот магматизм стал уверенно подразделяться на ятулийский и людиковийский [2; 11]. Более того, в связи с установлением благороднометалльной рудоносности Пудожгорского и Койкарско-Святнаволоцкого силлов [7; 11] перспективными на платиноиды стали считаться только людиковийские (1,98 млрд лет) дифференцированные габбродолеритовые интрузии [2]. В этом аспекте интрузивы Мотко и Куолиσμα и связанное с ними благороднометалльное оруденение оставались неизученными. Их сравнительный анализ, наряду с определенным сходством, показал ряд различий, особенно существенных на вещественном уровне.

В строении интрузива Мотко отсутствуют габбронориты и габбропироксениты, широко представленные в интрузиве Куолиσμα и являющиеся здесь наиболее рудопродуктивными. В целом все дифференциаты этого интрузива имеют более высокие содержания Fe и Ti по сравнению с Мотко, породы которого отличаются так же более интенсивными постмагматическими и метаморфическими изменениями (первичные минералы только в реликтах).

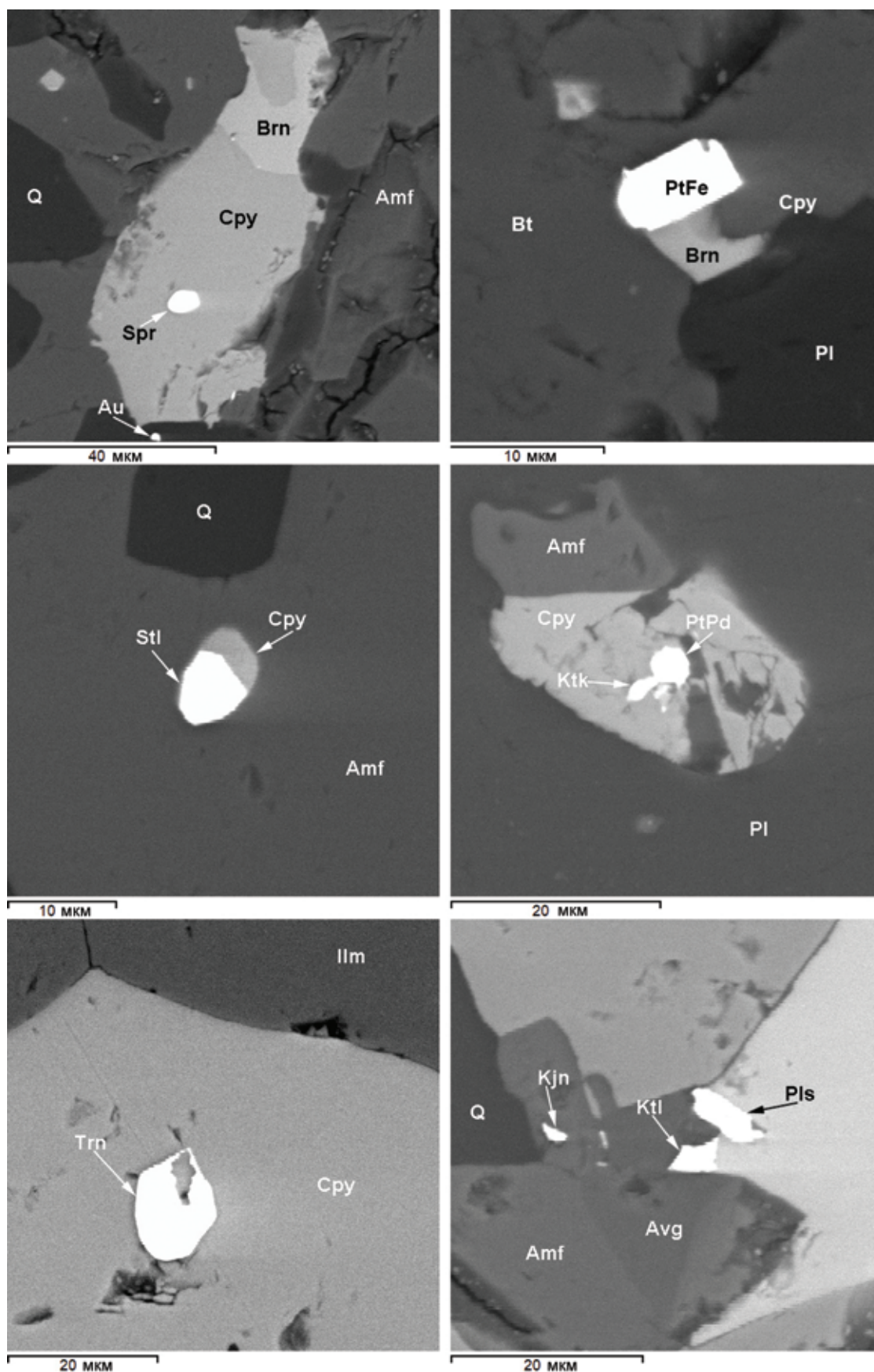


Рис. 4. Благороднометалльная минерализация рудопроявления Куолисма. BSE-фото

Amf – амфибол; Avg – авгит; Au – золото; Brn – борнит; Bt – биотит; Cpy – халькопирит; Ilm – ильменит; Kjn – койоненит, $Pd_{7-x}SnTe_2$; Ktk – кейтконит, Pd_3Te ; Ktl – котульскит, PdTe; Q – кварц; Pl – плагиоклаз; Pls – паларстанид, $Pd_5(Sn, As)_2$; PtFe – ферроплатина; PtPd – палладистая платина; Spr – сперрилит, $PtAs_2$; Stl – стиллуотерит, Pd_8As_3 ; Trn – торнрусит, $Pd_{11}As_2Te_2$

Минеральные ассоциации благороднометалльного оруденения проявлений Куолисма и Мотко

Куолисма	Мотко
Минералы Fe, Ti	
Ильменит (MnO 0,1–6,08 %), магнетит (TiO ₂ 0,81–3,33, V ₂ O ₅ 1,38–3,26 %)	Магнетит, ильменит (MnO 3,1–7,5 %)
Минералы Cu, Ni, Co, Bi, Te, Se, Pb, Zn, Mo	
Халькопирит, зигенит, борнит, пирит, пирротин, галенит, галенит (Se 2–20 %), клаусталит, сфалерит (Fe 4–10 %), молибденит	Пирит, халькопирит, халькозин, ковеллин, анилит, зигенит, галенит, галенит (Se 5–7 %), арсенипирит, сфалерит (Fe 1,8 %), вольфрамит (Mn 10 %), Cu ₈ Sn ₂ , Cu ₆ Zn ₄
Минералы Pt, Pd, Au, Ag	
Сперрилит, сперрилит (Rh 4 %), котульскит, котульскит-соболевскит, теллурупалладинит, мертиит-1, бреггит, меренскит, паларстанид, стиллуотерит, кейтконит, койоненит, торнрусит, фенглуанит, платина, Pd-платина, ферроплатина, золото, электрум, серебро, гессит, (Pd, Ag) ₂ (Te, Sn), Pd ₃ SnPb	Сперрилит, котульскит, изомертиит, мертиит-1 (Te 9 %), мончеит-меренскит, золото, Pd ₂ Te, (Ru, Os, Ir) _{1+x} S ₂ , NiCuIrPt
Второстепенные и аксессуарные минералы	
Циркон, бадделейт, торит, апатит (F 3 %), титанит (Al 4,3 %, Mg 1,7 %, V 0,8 %), паризит, монацит, алланит, чильманит (Ce)	Барит, титанит, циркон, торит, шеелит, паризит
Минералы рудовмещающих пород	
Fe-гастингсит (Mg# 0,12–0,25, Cl 0,1–0,87 %), авгит (Mg# 0,50–0,58), фаялит, ферросилит, грюнерит (Mg# 0,12–0,16), пижонит (Mg# 0,48–0,52), плагиоклаз (№ 19–53), биотит (Mg# 0,13–0,28, Cl 0,2–0,6 %), альбит, кварц, калишпат, пренит, хлорит (Mg# 0,38–0,88), эпидот (f 0,17–0,22), актинолит (Mg# 0,65–0,70), илваит, Fe-серпентин	Fe-гастингсит (Mg# 0,39–0,46, Cl 0,4–0,8 %), авгит (Mg# 0,60–0,70), плагиоклаз, альбит, калишпат, эпидот (f 0,24–0,32), актинолит, диопсид (Mg# 0,75–0,80), кварц, хлорит

Породы интрузива Куолисма сохранились лучше. В них в значительных количествах присутствуют ферросилит, пижонит (со структурами распада твердого раствора), авгит и почти стехиометричный по составу фаялит. Последний повсеместно замещается ферросилитом, а тот – хлорсодержащим феррогастингситом. Фаялит встречается также совместно с ильменитом, образуя с ним чередование удлиненных полосок, напоминающих ламели в структурах распада твердого раствора.

Если сравнивать проявления Куолисма и Мотко, то первое обладает более разнообразным составом пород и руд (таблица). В обоих проявлениях развитие медно-сульфидной минеральной ассоциации, в которой доминирует халькопирит, является индикаторным для нахождения в титаномангнетитовых рудах минералов МПГ и золота. Особенно четко это выражается при появлении в рудах кроме халькопирита также борнита, ковеллина и халькозина. Однако более тесная ассоцированность минералов МПГ непосредственно с сульфидами меди отмечается только на проявлении Куолисма (рис. 4), тогда как на проявлении Мотко эти минералы сопряжены преимущественно с магнетитом, титанитом и амфиболом (рис. 2)

Отмечаются также различия в распространенности вторичных (альбита, кварца, хлорита, пренита) и железистости фемических минералов, особенно существенные для главного породообразующего минерала в обоих проявлениях – хлорсодержащего Fe-гастингсита (рис. 5), являющегося

минералом-индикатором благороднометалльного оруденения.

Согласно расчетам в программе ILMAT 120 [14], образование ильменит-магнетитовой ассоциации происходило при температуре 466–643 °C и фугитивности кислорода – logfO₂ –18...–23 на проявлении Куолисма и 378–468 °C и logfO₂ –18...–27 – Мотко. Исходный титаномангнетит этой ассоциации представлен преимущественно октаэдрическими кристаллами со структурами распада твердого раствора, в которых на проявлении Куолисма магнетитовая фаза в большинстве случаев полностью замещена биотитом (Mg# 0,13–0,28, Cl 0,2–0,6 %) и грюнеритом (Mg# 0,16–0,20), а на проявлении Мотко ильменитовая фаза подверглась практически полному замещению титанитом. Это, вероятно, обусловлено различиями физико-химических условий образования магнетит-ильменитовой ассоциации в сравниваемых интрузивах, на что указывают вышеприведенные данные по температуре и фугитивности кислорода. В последующем тренд этих различий, по-видимому, сохранялся, приводя в одном случае к замещению только магнетита, а в другом – ильменита.

Приведенные различия интрузивов Куолисма и Мотко и связанного с ними оруденения могут, помимо других факторов, объясняться также и приуроченностью их формирования к различным этапам проявления протерозойского полициклического плюмового магматизма на территории Карелии. Правомерность

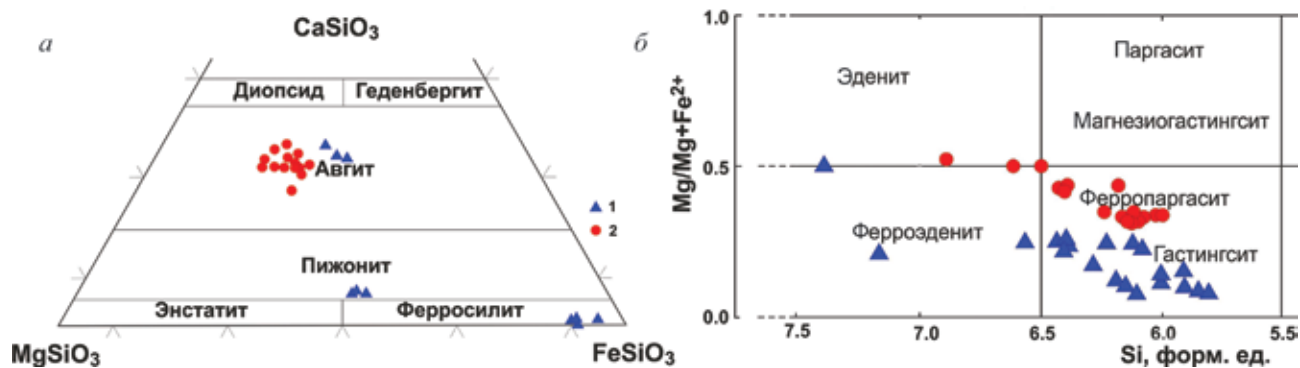


Рис. 5. Состав пироксенов (а) и амфиболов (б) рудоносных дифференциатов габбро-долеритовых интрузивов Куолисма (1) и Мотко (2)

этого предположения подтверждается впервые выполненными (ИГГД РАН, U/Pb, циркон) изотопными определениями возраста этих интрузивов, равными для Мотко – 2274 ± 3 млн лет и Куолисм – 1960 ± 2 млн лет.

Выводы. Благороднометалльные проявления Куолисма и Мотко, несмотря на их общность в приуроченности к титаномагнетитовым рудным горизонтам в протерозойских габбро-долеритовых интрузивах, характеризуются существенными различиями минерального состава, содержаний ΣPt , Pd, Au и Pd/Pt отношения.

Датирование цирконов, выделенных из габбро-долеритов интрузивов Мотко и Куолисма, показало их разный возраст – 2274 ± 3 и 1960 ± 2 млн лет, соответственно – ятулийский и людикийский.

Минералого-геохимическими индикаторами продуктивности на платиноиды и золото титаномагнетитового оруденения в протерозойских габбро-долеритовых интрузивах Центральной Карелии является развитие поздней минеральной ассоциации (амфибол \pm биотит \pm хлорит \pm ильменит II, халькопирит, борнит), алюмосиликаты которой характеризуются повышенной железистостью ($Fe\# = 0,65-0,75$) и аномально высокими содержаниями хлора (амфибол – до 5,5 и биотит – до 3,4 %).

Вследствие резких ценовых изменений на мировом рынке благородных металлов, особенно значительных для палладия, ряд рудных объектов на территории Карелии, включая рассмотренные Мотко и Куолисма, с невысокими средними содержаниями МПГ (~ 1 г/т) и Pd/Pt (1,5–3,0) могут представлять экономический интерес.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН).

1. Гонгальский Б. И. Месторождения уникальной металлогенической провинции Северного Забайкалья. – М.: ВИМС, 2015. – 248 с.

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

3. Иващенко В. И., Коневин К. А. Методика и критерии прогнозно-металлогенической оценки протерозойского габбро-долеритового магматизма Карелии на благороднометалльное оруденение // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: Тез. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – М.: ЦНИГРИ, 2018. – С. 48.

4. Коневин К. А., Иващенко В. И. Благороднометалльный потенциал интрузива Мотко // Горный журнал. – 2019. – № 3. – С. 35–38.

5. Корнеев А. В. Месторождение Викша – первый крупный промышленно-перспективный платинометалльный рудный объект на территории Карелии / А. В. Корнеев, А. С. Вихко, Н. В. Фатов, В. И. Иващенко // Горный журнал. – 2019. – № 3. – С. 31–34.

6. Малашин М. В. Геохимия и петрология мафических вулканических комплексов нижнего протерозоя Карелии. I. Ятулийский трапповый комплекс / М. В. Малашин, А. И. Голубев, В. В. Иваников, Н. Б. Филиппов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. – 2003. – № 1. – С. 3–33.

7. Металлогения Карелии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. – 337 с.

8. Минеральное сырье. Краткий справочник / ред. В. П. Орлов. – М.: Геоинформмарк, 1999. – 302 с.

9. Светов А. П. Платформенный базальтовый вулканизм карелид Карелии. – Л.: Наука, 1979. – 208 с.

10. Степанова А. В., Ларионов А. Н., Ларионова Ю. О. Силлы 2,2 млрд лет в центральной части Карельского кратона: U-Pb геохронология циркона и геохимия габбро-долеритов района Большозера // Труды Карельского научного центра РАН. – 2018. – № 11. – С. 3–16. – DOI: 10.17076/geo781

11. Трофимов Н. Н., Голубев А. И. Пудожгорское благороднометалльное титаномагнетитовое месторождение. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. – 123 с.

12. Филиппов Н. Б. Новые геохронологические данные по Койкарско-Святнаволоцкому и Пудожгорскому габбро-долеритовым интрузивам / Н. Б. Филиппов, Н. Н. Трофимов, А. И. Голубев, С. А. Сергеев, Х. Хухма // Геология и полезные ископаемые Карелии: сб. науч. ст. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – Вып. 10. – С. 49–68.

13. Finanz.ru: сайт. – URL: <https://www.finanz.ru/novosti/birzhevyye-tovary/rossiya-vzorvala-mirovoy-rynok-palladiya-1028042423> (дата обращения: 22.03.2019).

14. Lepage L. D. ILMAT: an excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry // Computers and Geosciences. – 2003. – Vol. 29 (5). – Pp. 673–678.

15. O'Driscoll B., González-Jiménez J. M. Petrogenesis of the Platinum-Group Minerals // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. – 2016. – Vol. 81. – Pp. 489–578.

16. The JORC Code: 2012 Edition. – Joint Ore Reserves Committee, 2012. – URL: http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf (дата обращения: 19.07.2018).

1. Gongal'skiy B. I. Mestorozhdeniya unikal'noy metallogenicheskoy provintsii Severnogo Zabaykal'ya [Deposits of the unique metallogenic province of Northern Transbaikalia]. Moscow, Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mineral'nogo syr'ya im. N. M. Fedorovskogo, 2015. 248 p.

2. Ivashchenko V. I., Golubev A. I. Zoloto i platina Karelii: formatsionno-geneticheskie tipy orudneniya i perspektivy [Gold and platinum of Karelia: formation-genetic types of mineralization and prospects]. Petrozavodsk, Institute of Geology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 2011, 369 p.

3. Ivashchenko V. I., Konevin K. A. Metodika i kriterii prognozno-metallogenicheskoy otsenki proterozoyskogo gabbrodoleritovogo magmatizma Karelii na blagorodnometal'noe orudnenie [Methodology and criteria for the prognostic-metallogenetic assessment of the Proterozoic gabbrodolerite magmatism of Karelia for noble metal mineralization]. *Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdeniy almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov: Tezisy VIII Mezhdunaradnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow, Tsentral'nyy nauchno-issledovatel'skiy geologorazvedochnyy institut tsvetnykh i blagorodnykh metallov, 2018, pp. 48. (In Russian).

4. Konevin K. A., Ivashchenko V. I. Noble metal potential of Motko intrusion. *Gornyi Zhurnal*, 2019, no. 3, pp. 35–38. (In Russian).

5. Korneev A. V., Vikhko A. S., Fatov N. V., Ivashchenko V. I. Viksha deposit – the first large industrially promising PGM locality in Karelia. *Gornyi Zhurnal*, 2019, no. 3, pp. 31–34. (In Russian).

6. Malashin M. V., Golubev A. I., Ivanikov V. V., Filipov N. B. Geochemistry and petrology of Paleoproterozoic

mafic volcanic complexes of Karelian. I. Jatulian trap complex. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7*, 2003, no. 1, pp. 3–33. (In Russian).

7. Metallogeniya Karelii [Metallogenia of Karelia]. Petrozavodsk, Institute of Geology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 1999, 337 p.

8. Mineral'noe syr'e. Kratkiy spravochnik [Mineral raw materials. Quick reference]. Ed. V. P. Orlov. Moscow, Geoinformmark, 1999, 302 p.

9. Svetov A. P. Platformennyy bazal'tovyy vulkanizm karelid Karelii [Platform basaltic volcanism of karelide Karelia]. Leningrad, Nauka, 1979, 208 p.

10. Stepanova A. V., Larionov A. N., Larionova Yu. O. 2.2 Ga mafic sills in the central part of the Karelian Craton: U-Pb dating of zircons and geochemistry of gabbro-dolerites in the lake Bolshozero area. *Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2018, no. 11, pp. 3–16. DOI: 10.17076/geo781 (In Russian).

11. Trofimov N. N., Golubev A. I. Pudogorskoe blagorodnometal'noe titanomagnetitovoe mestorozhdenie [Pudogorsk precious metal titanomagnetite deposit]. Petrozavodsk, Institute of Geology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 2008, 123 p.

12. Filippov N. B., Trofimov N. N., Golubev A. I., Sergeyev S. A., Huhma H. Isotopic age data on the Koikary-Svyatnavolok and Pudozhgora sheeted intrusions. *Geology and Useful Minerals of Karelia*. Petrozavodsk, Institute of Geology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 2007, iss. 10, pp. 49–68. (In Russian).

13. Finanz.ru, available at: <https://www.finanz.ru/novosti/birzhevyye-tovary/rossiya-vzorvala-mirovoy-rynok-palladiya-1028042423> (accessed: 22.03.2019).

14. Lepage L. D. ILMAT: an excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry. *Computers and Geosciences*, 2003, vol. 29 (5), pp. 673–678.

15. O'Driscoll B., González-Jiménez J. M. Petrogenesis of the Platinum-Group Minerals. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2016, vol. 81, pp. 489–578.

16. *The JORC Code: 2012 Edition*. Joint Ore Reserves Committee, 2012, available at: http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf (accessed: 19 July 2018).

Иващенко Василий Иванович – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, Институт геологии Карельского научного центра РАН (ИГ КарНЦ РАН). Пушкинская ул., 11, Петрозаводск, Республика Карелия, 185910, Россия. <ivashche@krc.karelia.ru>

Коневин Константин Андреевич – геолог, ООО «Индустрия». Ул. Кирова, 25, Петрозаводск, Республика Карелия, 185035, Россия. <KonstantinKonevin@polymetal.ru>

Ivashchenko Vasily Ivanovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG KarRC RAS). 11 Pushkinskaya ul., Petrozavodsk, the Republic of Karelia, 185910, Russia. <ivashche@krc.karelia.ru>

Konevin Konstantin Andreevich – Geologist, ООО «Индустрия». 25 Ul. Kirova, Petrozavodsk, the Republic of Karelia, 185035, Russia. <KonstantinKonevin@polymetal.ru>