

Минералогия и металлогенический потенциал (Pt, Pd, Au, V) протерозойских габбродолеритовых интрузивов Куолиσμα и Мотко (Карелия)

Коневин К.А., Иващенко В.И.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, ivashche@krc.karelia.ru

Аннотация. Дана краткая геологическая характеристика габбродолеритовых интрузивов. Приведены результаты минераграфических и микрозондовых исследований благороднометалльного оруденения проявлений Куолиσμα и Мотко. Проведен их сравнительный анализ. Выделены главные минеральные рудные ассоциации и обоснованы выводы об условиях их образования. Определены минералого-геохимические индикаторы оруденения металлов платиновой группы в протерозойских габбродолеритовых интрузивах. Дана прогнозная оценка ресурсов благородных металлов.

Ключевые слова: Карелия, протерозой, габбродолеритовые интрузивы, титаномагнетитовые руды, фаялит, минералы платины и палладия, золото, Cl-амфибол, Cl-биотит.

Mineralogy and metallogenic potential (Pt, Pd, Au, V) of the Proterozoic Kuolisma and Motko gabbro-dolerite intrusive units, Karelia

Konevin K.A., Ivashchenko V.I.

Institute of Geology, KarRC, RAS, Petrozavodsk, ivashche@krc.karelia.ru

Abstract. The gabbro-dolerite intrusive units are briefly described geologically. The results of the mineragraphic and microprobe studies of noble-metal mineralization at the Kuolisma and Motko occurrences are reported. Their comparative analysis was done. Major mineral ore associations were identified and conclusions regarding the conditions of their formation were drawn and supported by available evidence. The mineralogo-geochemical indicators of platinum-group metal mineralization in the Proterozoic gabbro-dolerite intrusive units were identified. Prognostic appraisal of noble-metal resources was done.

Keywords: Karelia, Proterozoic, gabbro-dolerite intrusive units, titanomagnetite ores, fayalite, platinum and palladium minerals, gold, Cl-amphibole, Cl-biotite.

Металлы платиновой группы (МПП) являются стратегическим минеральным сырьем, широко используемым во многих отраслях промышленности и в валютно-банковском секторе современной мировой экономики. Российской Федерации для сохранения лидирующих позиций на мировом рынке платиноидов необходимо наращивать их минерально-сырьевую базу, в том числе и за счет новых нетрадиционных источников. К таким могут относиться комплексные (Fe, Ti, V) руды с сопутствующими Pt, Pd, Au, Cu, Sc ряда месторождений Карелии в габбродолеритовых силлах протерозойского возраста.

К настоящему времени в Карелии этот тип оруденения представлен двумя месторождениями (Койкарское – «Викша», Пудожгорское,) и несколькими проявлениями (Куолиσμα, Мотко и др.). Суммарные прогнозные ресурсы МПП в рудных объектах этого типа составляют ~ 900 т, а на месторождении «Викша» разведаны (компания «Полиметалл») запасы в количестве 213 млн. т. руды со средним содержанием \sum Pt, Pd, Au – 0.98 г/т (Корнеев и др., 2019).

Проявления (пр.) Куолиσμα и Мотко локализованы в одноименных протерозойских габбродолеритовых интрузивах в Центральной Карелии. Протяженность интрузивов до 15-20 км, мощность 250-350 м. Интрузивы имеют отчетливое дифференцированное строение от пироксенитов и меланократовых габбродолеритов к габбродолеритам, габбродиоритам с участием гранофигов и обособлением в приподошвенной части титаномагнетитового горизонта (четко выражен в Мотко, слабо в Куолисме) и сопряженного с ним благороднометалльного оруденения (Коневин, Иващенко, 2019). Все породы имеют повышенные содержания Fe и Ti. Степень дифференциации данных интрузий и характер распределения в них рудной минерализации имеют некоторые отличия, определяемые,

вероятно, их морфологическими различиями: Куолиσμα – трещинная интрузия, Мотко – пластовая. Однако в петрографическом, петрохимическом и минералого-геохимическом аспектах, они, так же как и оруденение, связанное с ними, проявляют больше сходства, чем различий. Более того, в результате проведенных нами минераграфических и микрозондовых исследований руд сравниваемых проявлений (аналитический центр ИГ КарНЦ РАН, сканирующий электронный микроскоп VEGA II LSH-Tescan с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 в) установлены общие для них типоморфные минеральные ассоциации и минералы-индикаторы благороднометалльного оруденения.

Минеральный состав пород и руд пр. Куолиσμα более разнообразен, чем пр. Мотко (табл. 1). Отмечаются также различия в распространенности вторичных минералов (альбита, кварца, хлорита, пренита) и в железистости фемических минералов, особенно существенные для главного породообразующего минерала в обоих проявлениях – хлорсодержащего Fe-гастингсита (табл. 1, рис. 1), являющегося минералом-индикатором благороднометалльного оруденения.

Рудная минерализация проявлений представлена тремя последовательно образовавшимися минеральными ассоциациями – ильменит-титаномагнетитовой, медно-сульфидной и благороднометалльной (табл. 1).

Таблица 1. Минеральные ассоциации БМ оруденения проявлений Куолиσμα и Мотко.

Table 1. Mineral associations of noble-metal mineralization in the Kuolisma and Motko occurrences.

Куолиσμα	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 %), арсенопирит, сфалерит (Fe 1.8 %), вольфрамит (Mn 10 %), Cu ₈ Sn ₂ , Cu ₆ Zn ₄
Минералы Pt, Pd, Au, Ag	
Сперрилит, сперрилит (Rh 4 %), торнрусит, мертиит-1, парларстанид, теллурупалладинит, меренскит, котульскит, котульскит-соболевскит, бреггит, койоненит, платина, ферроплатина, гессит, золото, серебро, (Pd,Ag) ₂ (Te,Sn), Pd ₈ SnPb	Сперрилит, котульскит, мертиит-1, мертиит-1 (Te 9 %), мончеит-меренскит, золото, Pd ₂ Te, (Ru,Os,Ir) _{1+x} S ₂ , NiCuIrPt
Второстепенные и акцессорные минералы	
Циркон, бадделеит, 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 %), 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), фаялит, ферросилит, грюнерит (Mg# 0.12-0.16), пижонит (Mg# 0.48-0.52), авгит (Mg# 0.50-0.58), актинолит (Mg# 0.65-0.70)	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

Согласно расчетам в программе ILMAT 120 (Lepage, 2003), образование ильменит-магнетитовой ассоциации происходило при температуре 466-643 °С и фугитивности кислорода – logfO₂ (-18)-(-23) на пр. Куолиσμα и 378-468 °С и logfO₂ (-18)-(-27) на пр. Мотко. Исходный титаномагнетит этой ассоциации представлен преимущественно октаэдрическими кристаллами со структурами распада твердого раствора, в которых на пр. Куолиσμα 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 пр. Мотко практически полному замещению титанитом подверглась ильменитовая фаза. Это, ве-

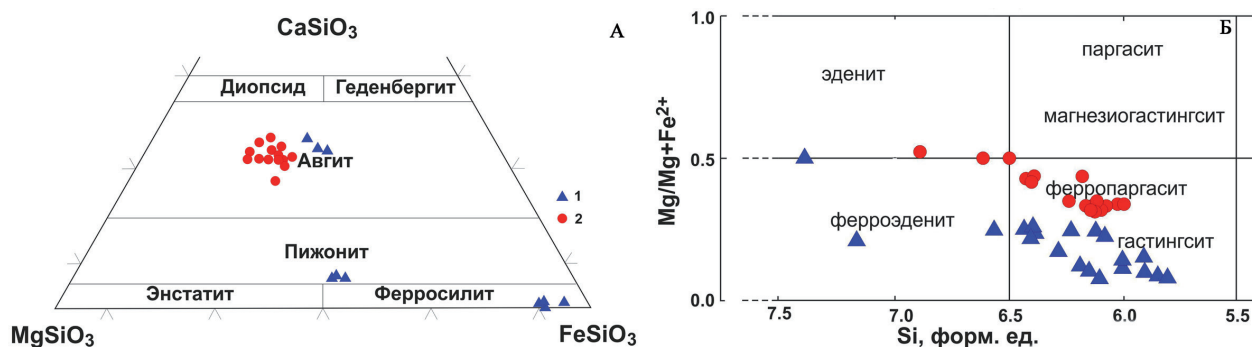


Рис. 1 Состав пироксенов (А) и амфиболов (Б) рудоносных дифференциатов габбро-дolerитовых интрузивов Куолиσμα (1) и Мотко (2).

Fig. 1. Composition of pyroxenes (A) and of amphiboles (Б) from the ore-bearing differentiates of the Kuolisma (1) and Motko (2) gabbro-dolerite intrusive units.

роятно, 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.

В целом породы интрузива Мотко претерпели гораздо более интенсивные постмагматические преобразования, в том числе и наложенные метаморфические. Первичные минералы (пироксен, основной плагиоклаз) в них отмечаются только в виде реликтов, а широкое развитие получили хлорсодержащий гастингсит и альбит.

Габбро-дolerиты интрузива Куолиσμα сохранились лучше. В них в значительных количествах присутствуют ферросилит, пижонит (со структурами распада твердого раствора) авгит и почти стехиометричный по составу фаялит (рис. 1). Последний повсеместно замещается ферросилитом, а тот – хлорсодержащим феррогастингситом. Фаялит встречается также совместно с ильменитом, образуя с ним чередование удлинённых выделений, напоминающих ламелли в структурах распада твердого раствора.

Медно-сульфидная минеральная ассоциация, в которой доминирует халькопирит, является индикаторной для нахождения здесь же минералов металлов платиновой группы (МПГ) и золота. Особенно четко это выражается при появлении в рудах кроме халькопирита также борнита, ковеллина и халькозина. Необычным представляется появление в этой ассоциации таких минералов как молибденит и вольфрамит.

Благороднометалльная минерализация, представленная минералами МПГ (табл. 1), золотом и серебром самородными и гесситом, ассоциируется с сульфидами меди и хлорсодержащим Fe-гастингситом. Эти минералы отмечаются в халькопирите (рис. 2 г, е), магнетите, титаните (рис. 2 з), часто выделяются на границе разных минеральных фаз (рис. 2 а,б,д), реже образуют сростки (рис. 2 и) и микропрожилки (рис. 2 ж). На пр. Куолиσμα доминируют сперрилит и станниды и стибноарсениды палладия (табл. 1, 2), на пр. Мотко котульскит и сперрилит. Размерность этих минералов преимущественно 3-8 мкм, реже – до 20-30 мкм. Ассоциация благороднометалльной минерализации с сульфидами и хлорсодержащим амфиболом свидетельствует о ее образовании в гидротермально-метасоматическую стадию. Микронные размеры выделений минералов МПГ затрудняют их точную диагностику и получение корректных микрозондовых анализов. Возможно, вследствие этого часть благороднометалльных фаз не удалось идентифицировать, хотя по составу (табл. 1) некоторые из них соответствуют неназванным минеральным фазам из международных минералогических баз данных.

Средние содержания Σ МПГ, Au в рудах пр. Куолиσμα и Мотко около 1 г/т, в отдельных пробах до 3 г/т. Прогнозные ресурсы благородных металлов на пр. Мотко составляют 62 т (Коневин, Иващенко, 2019), на пр. Куолиσμα, как предполагается, могут быть несколько больше.

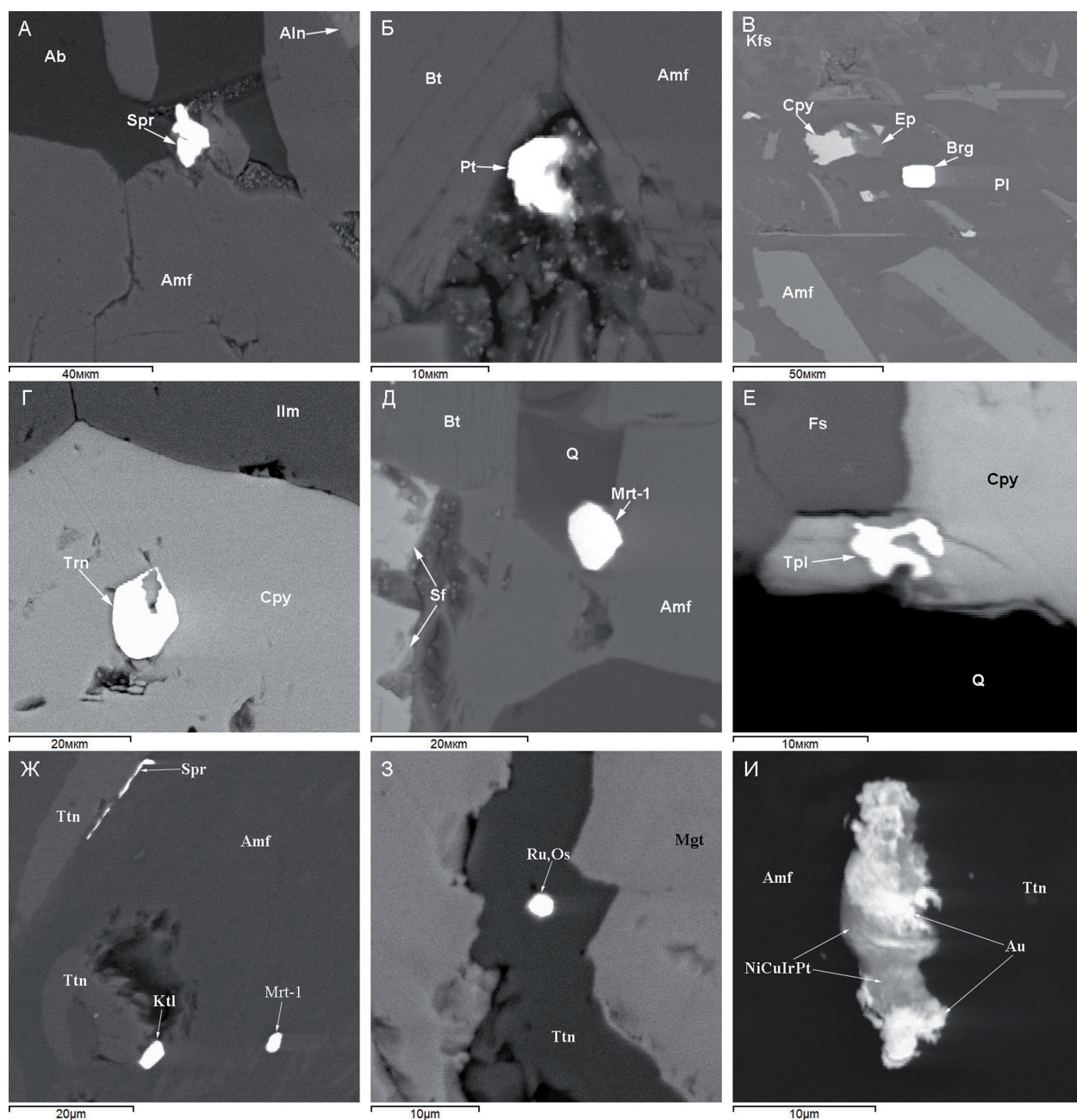


Рис. 2. Платинометалльная минерализация пр. Куолиσμα (А-Е) и Мотко (Ж-И), BSE фото.

Ab – альбит, Aln – алланит, Amf – амфибол, Au – золото, Brg – бреггит, Bt – биотит, Cpy – халькопирит, Ep – эпидот, Fs – ферросилит, Ilm – ильменит, Kfs – калиевый полевой шпат, Mgt – магнетит, Mrt-1 – мертеит-1, Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Pt – платина, Ru,Os – фаза $(Ru,Os,Ir)_{1+x}S_2$, Sf – сфалерит, Spr – сперрилит, Tpl – теллуropалладинит, Trn – торнрусит, Ttn – титанит.

Fig. 2. Noble-metal mineralization of the Kuolisma (A-E) and Motko (Ж-И) occurrences, BSE –photo.

Ab – albite, Aln – allanite, Amf – amphibole, Au – gold, Brg – breggite, Bt – biotite, Cpy – chalcopyrite, Ep – epidote, Fs – ferrosilite, Ilm – ilmenite, Kfs – alkali feldspar, Mgt – magnetite, Mrt-1 – merriteite-1, Q – quartz, Pl – plagioclase, Pt – platine, Ru,Os – phase $(Ru,Os,Ir)_{1+x}S_2$, Sf – sphalerite, Spr – sperrylite, Tpl – telluropalladinite, Trn – tönroosite, Ttn – titanite.

Таблица 2. Состав благороднометалльных минералов пр. Куолиσμα и Мотко.
 Table 2. Composition of noble-metal minerals from the Kuolisma and Motko occurrences.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pt			58.83						50.63	88.03	
Pd	72.22	29.06		79.77	73.10	38.80	41.11	59.62	30.49		62.22
Bi		15.90				37.67	15.43			0.59	
Te		55.04		13.47		23.52	45.23	28.02			37.78
Sb					21.66						
Sn	19.78							12.36			
Fe										11.38	
As	8.00		41.17	6.76	5.24						
S									18.88		
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Коэффициенты кристаллохимической формулы											
Pt			1.06						0.46	0.68	
Pd	4.99	1.05		11.89	11.02	1.02	0.97	6.34	0.51		8.63
Bi		0.29				0.47	0.18			0.01	
Te		1.66		1.68		0.51	0.85	2.48			4.37
Sb					2.85						
Sn	1.23							1.18			
Fe										0.31	
As	0.78		1.94	1.43	1.12						
S									1.04		

Примечание. 1 – паларстанид, 2 – меренскит, 3 – сперрилит, 4 – торнрусит, 5 - мертиит-1, 6 – промеж. фаза котульсит-соболевскит, 7 – котульскит, 8 – койоненит, 9 – бреггит, 10 – ферроплатина, 11 – теллуropалладинит.

Работа выполнена в рамках темы НИР № АААА-А18-118020290175-2.

Литература

1. Коневин К.А., Иващенко В. И. Благороднометалльный потенциал интрузива Мотко // Горный журнал. 2019. № 3. С. 35–38.
2. Корнеев А.В., Вихко А.С., Фатов Н.В., Иващенко В.И. Месторождение Викша – первый крупный промышленно-перспективный платинометалльный рудный объект на территории Карелии // Горный журнал. 2019. № 3. С. 31–34.
3. Lepage L.D. ILMAT: an excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry. Comput. Geosci. 2003. V. 29 (5). P. 673–678.