

УДК 553(470.22)

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНТРУЗИВА МОТКО



К. А. КОНЕВИН¹,
геолог



В. И. ИВАЩЕНКО²,
ведущий научный сотрудник, канд. геол.-минерал. наук,
ivashche@krc.karelia.ru

¹ ООО «Индустрия», Петрозаводск, Россия

² Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Введение

Металлы платиновой группы (МПГ) являются стратегическим минеральным продуктом, широко используемым во многих отраслях промышленности и в валютно-банковском секторе современной мировой экономики. Области их применения постоянно расширяются, а потребление, соответственно, неуклонно возрастает [1–3].

Российской Федерации, занимающей второе место в мире по запасам МПГ при относительно небольших прогнозных ресурсах (около 3 тыс. т) [4], для сохранения лидирующих позиций на мировом рынке платиноидов необходимо наращивать их минерально-сырьевую базу, в том числе и за счет новых нетрадиционных источников [5, 6]. К таким могут относиться комплексные (Fe, Ti, V) руды с сопутствующими Pt, Pd, Au, Cu ряда месторождений Карелии в габбро-долеритовых силлах протерозойского возраста. Эти объекты как новый для региона рудно-формационный тип благороднометалльного оруденения – золотоплатинопалладиевый титаномагнетитовый («пудожгорский») [7] были изучены и охарактеризованы при выполнении всероссийской программы «Платина России» (1992–2004 гг.), целью которой была оценка платинометалльного потенциала нашей страны. Ранее считалось [8], что в целом для титаномагнетитовых руд нехарактерны какие-либо повышенные концентрации МПГ и золота. Однако впоследствии это утверждение стало далеко не бесспорным ввиду результатов ревизионной переоценки известных Fe-Ti-месторождений и открытия новых благороднометалльных рудных объектов пудожгорского типа как в Карелии, так и в других регионах мира [9–12].

К настоящему времени в Карелии этот тип оруденения представлен двумя месторождениями (Койкарское – Викша; Пудожгорское) и несколькими проявлениями (Тубозерское, Куолисма, Мотко и др.). Суммарные прогнозные ресурсы благородных

Приведены результаты исследований габбро-долеритового интрузива Мотко в Центральной Карелии. Дана краткая характеристика его геологического строения, степени дифференциации и состава пород. По геофизическим данным и результатам kernового опробования в пределах интрузива выявлено 5 рудных зон с общими прогнозными ресурсами благородных металлов по категории P_2 62 т.

Ключевые слова: Карелия, протерозойский габбро-долеритовый магматизм, интрузив Мотко, титаномагнетитовый горизонт, благороднометалльное оруденение, «пудожгорский» Au-Pt-Pd-титаномагнетитовый тип, Cl-содержащие амфиболы.

DOI: 10.17580/gzh.2019.03.07

металлов в рудных объектах этого типа составляют примерно 900 т [13–16], а на месторождении Викша разведаны (компания «Полиметалл») ресурсы в количестве 213 млн т руды со средним содержанием Σ Pt, Pd, Au в 0,98 г/т. Согласно независимой аудит-оценке, проведенной компанией AMC Consultants в 2016 г., общее (выявленное и предполагаемое) количество благородных металлов на месторождении Викша составляет 6,6 млн унций (204,6 т) [17]. На некоторых рудопроявлениях рассматриваемого типа, том числе и на Мотко, проведены комплексные поисковые работы, включающие площадное геохимическое опробование, геофизическую съемку, бурение и др. В ходе этих работ получены новые геолого-геофизические, геохимические и аналитические данные. Аналитика выполнялась аккредитованными подрядными организациями (ООО «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (Москва) – пробирный анализ на Pt, Pd, Au; АО «Иргиридмет» (Иркутск) – ICP-AES-анализ на 37 элементов и др.). Результаты геологических изысканий ООО «Индустрия» позволяют объективно охарактеризовать интрузив Мотко и оценить его благороднометалльный потенциал.

Результаты геолого-геофизического изучения интрузива Мотко

Рудопроявление Мотко локализовано в одноименном интрузиве, расположенном в Центральной Карелии в Лубосалминской синклинирной структуре, представляющей собой протерозойский прогиб северо-западного (320–350°) простирания, выполненный метаосадочной толщей (конгломераты, песчаники, кварциты) янгозерской свиты ятулия с силлоподобными габбро-долеритовыми интрузиями.

По данным геолого-съемочных, горных и буровых работ, площадь выхода интрузива Мотко на современном эрозионном срезе составляет около 30 км². Его средняя мощность 350 м, углы падения контактов изменяются от 30° в юго-восточной части до 50° в северо-восточной (рис. 1). Интрузив осложнен тектоническими нарушениями, складчатостью, автометасоматическими

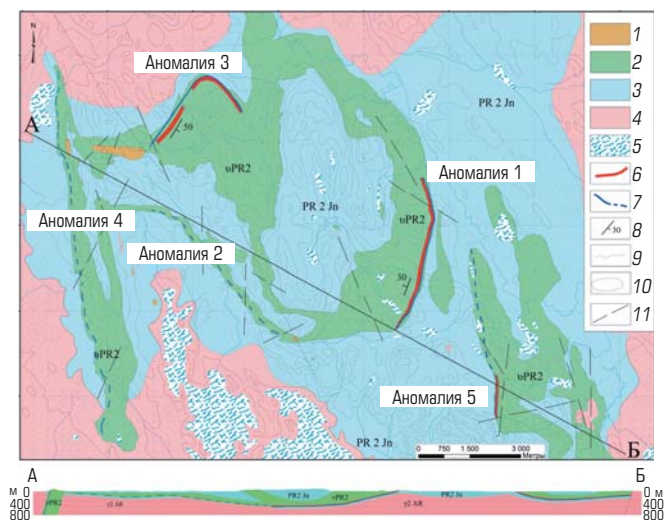


Рис. 1. Схема геологического строения интрузива Мотко:

1–3 – протерозой: 1 – диориты, кварцевые диориты, гранодиориты; 2 – габбро-долериты, габбро, габбро-пироксениты; 3 – кварциты, кварцитопесчаники, песчаники (янгозерская свита ятулия); 4 – архей, нерасчлененный гранитогнейсовый комплекс; 5 – озера; 6 – зона благороднометалльного оруденения; 7 – титаномагнетитовый горизонт (установленный, предполагаемый); 8 – элементы залегания пород; 9 – реки, ручьи; 10 – изолинии рельефа местности; 11 – тектонические нарушения

преобразованиями, в совокупности затушевывающими его исходное дифференцированное строение.

В подошве интрузива развиты массивные тонко- и мелкозернистые плагиопироксениты и меланократовые габбро, постепенно сменяющиеся вверх по разрезу средне- и крупнозернистыми габбро, габбро-долеритами. Они имеют сходный первичный минеральный состав (плагиоклаз № 20–60, роговая обманка, клинопироксен), отличаясь преимущественно только количественными соотношениями главных породообразующих минералов и развивающихся по ним поздних минеральных ассоциаций. Дифференцированное строение интрузива фиксируется также по изменению остаточной намагниченности пород от кровли к подошве, определяемой преимущественно количеством рассеянной вкрапленности титаномагнетита.

Все породы, особенно эндоконтактные фации, интенсивно амфиболитизированы и альбитизированы. Наиболее измененные разности подверглись также эпидотизации и в меньшей мере – окварцеванию. Первичный клинопироксен ($f = 0,32 \div 0,4$) сохранился только в реликтах. Замещающие его амфиболы (актинолит и феррогастингсит), хлорит, биотит характеризуются значительно более высокой железистостью ($f \geq 0,5$). Вследствие этого и наличия магнетитовой вкрапленности практически во всех породах интрузива, вплоть до образования «рассеянного» рудного горизонта в его нижней части, интрузив Мотко контрастно выделялся в магнитном поле, что благоприятствовало целенаправленному проведению поисково-оценочных и разведочных работ в его пределах. Выходы интрузива контрастно выделяются в виде положительных магнитных аномалий интенсивностью до 2500–3000 нТл при уровне нормального

магнитного поля 53300 нТл. Магнитные аномалии имеют субмеридиональное простирание и протяженность до 12 км.

Аномалия № 1 (протяженность 7,5 км) вскрыта на протяжении 3 км 5 картировочными и 4 поисковыми скважинами. На поверхности в контуре аномалии по результатам штучного опробования выделена минерализованная зона с содержанием Au, Pt, Pd – более 0,1 г/т. В разрезе зона выделяется в виде горизонтарифа с повышенными содержаниями (геохимические аномалии) Pt, Pd, Fe, Ti, V мощностью от 6 до 26 м, по Cu – до 12 м. В его пределах установлен рудный интервал.

Аномалия № 2 (протяженность – около 7 км, ширина 300 м) сложена меланократовым габбро с вкрапленной сульфидной и титаномагнетитовой минерализацией. В контуре аномалии в диоритах выявлена медная минерализованная зона шириной до 0,5 м с содержанием Cu, по данным ICP, – 0,2–2 %.

Аномалия № 3 прослежена горными выработками и единичными поисковыми скважинами на протяжении 1,1 км. Предполагается, что вскрытые меланократовые амфиболитизированные габбро относятся к придонной части интрузива. В них установлена минерализованная (пирит, халькопирит, магнетит) зона с повышенным содержанием ΣPt , Pd, Au и Cu. Оруденение приурочено к контакту габбро и меланократового габбро-долерита. В контуре аномалии высока вероятность выявления второго благороднометалльного горизонта.

Аномалия № 4 протяженностью примерно 9 км не изучена.

Аномалия № 5 (протяженность – около 5 км, ширина – до 300 м) представлена меланократовым амфиболитизированным, хлоритизированным габбро с вкрапленностью пирита и халькопирита (1–3 %) и содержанием благородных металлов $>0,1$ г/т. По результатам площадных геофизических работ в контуре данной аномалии наблюдается серия линейных положительных магнитных аномалий мощностью от первых десятков до сотен метров. В разрезе аномалия не изучена.

Горно-буровыми работами строение и вещественный состав интрузива Мотко исследован до глубины 300 м. Рассеянный рудный титаномагнетитовый горизонт в юго-западной части интрузива БП-Е158 залегает в 63 м от его подошвы и совместно с пирит- и халькопиритсодержащим оруденением (около 1 %) приурочен к контактовой зоне габбро (магнитная восприимчивость от $50 \cdot 10^{-3}$ до $90 \cdot 10^{-3}$ ед. – 1 %) с габбро-долеритами (содержание сульфидов $\ll 1$ %, $\kappa \geq 40 \cdot 10^{-3}$ ед.). Истинная мощность так же, как и в юго-восточной части интрузии (БП-Е158), варьирует от 4,4 до 5,6 м.

Зона с благороднометалльным оруденением ($Pd_y > 1$ г/т) пространственно совмещена с рассеянным титаномагнетитовым горизонтом. Ее мощность изменяется от 1 до 3 м 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 [14, 16]: слабые геохимические аномалии Cu ($<0,1$ %) → меднорудная зона (Cu $>0,1$ %) → титаномагнетитовый рудный горизонт, совпадающий с благороднометалльным. Совмещенный рудный горизонт выдержан по мощности и падению: азимут простирания 176° , углы падения 27 – 30° .

В северо-западной части интрузива вследствие проявленных дизъюнктивных и пликативных деформаций рудный горизонт залегает почти вертикально, что является благоприятным признаком для обнаружения здесь, в замыкании структуры, оруденения офсетного (перемещенного) типа [16] с более высокими содержаниями благородных металлов, как это установлено на смежном поисковом участке и на некоторых сходных рудных объектах в других регионах [10].

Минеральный состав оруденения

В пределах выявленного рудного горизонта установлены три главные, последовательно образовавшиеся минеральные ассоциации – ильменит-титаномагнетитовая, сульфидная (пирит-халькопиритовая) и благороднометалльная, каждая из которых сопровождается второстепенными рудными минералами. Видовой минеральный состав рудного горизонта интрузива Мотко следующий:

- минералы Fe, Ti, Cu, Ni, Co: магнетит, ильменит (Mn – 2,4–5,8 %), титанит, зигенит, халькопирит, пирит, халькозин, ковеллин, анилит, гетит;
- минералы As, Bi, Te, Se, Pb, Zn: арсенопирит, галенит, Се-галенит;
- минералы Pt, Pd, Rh, Au, Ag, интерметаллиды: котульскит, Ау-котульскит, сперрилит, изомертиит, Те-изомертиит, мончеит, меренскиит, Cu-гарутиит, золото ($Au_{86}Ag_{14}$), $(Ru, Os, Ir)_{1+x}S_2$, Pd_2Te , Cu_6Sn_2 , Cu_6Zn_4 ;
- акцессорные минералы: циркон, барит, шеелит, торит, паризит, апатит;
- минералы рудовмещающих пород: клинопироксен (салит-авгит $f = 0,32 \div 0,4$), феррогастингсит ($f = 0,54 \div 0,61$; Cl – 0,4–0,8 %), актинолит ($f = 0,38 \div 0,42$), альбит, плагиоклаз (№ 16–34), эпидот ($f = 0,19 \div 0,32$), хлорит, биотит, кальцит, кварц.

В наиболее ранней (позднемагматической стадии) ассоциации титаномагнетит представлен преимущественно идиоморфными октаэдрическими кристаллами со структурами распада твердого раствора, в которых ильменитовая фаза полностью замещена титанитом (рис. 2, а). Ильменит в рудах сохранился только в виде обособленных ксеноморфных выделений, частично замещенных титанитом (см. рис. 2, б). Это замещение произошло, вероятно, синхронно с обрастанием халькопирита каймами халькозина (см. рис. 2, б) уже в гидротермальной стадии.

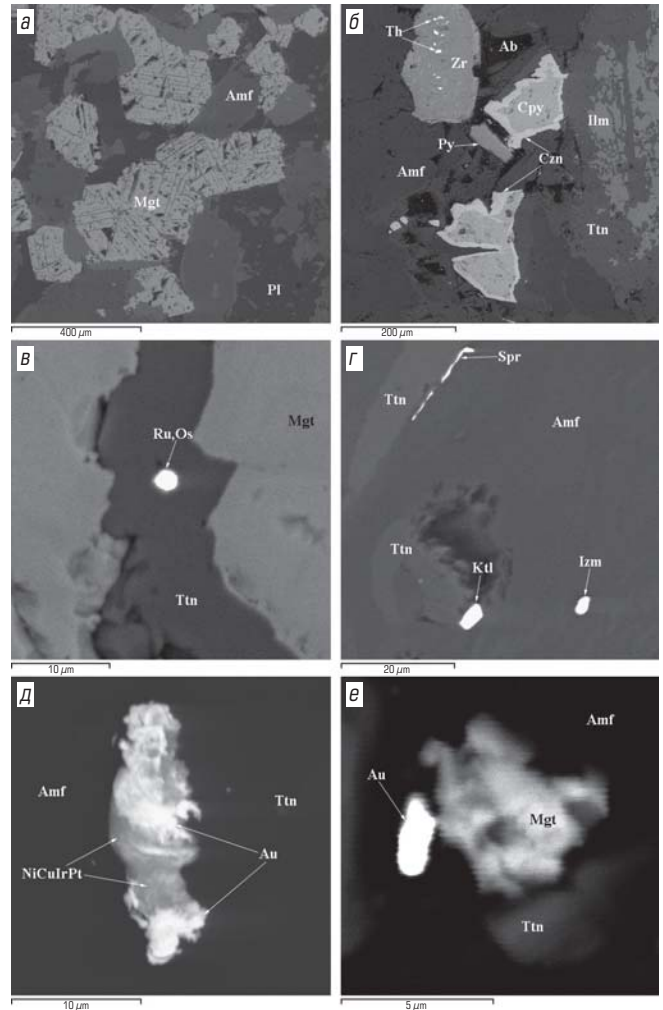


Рис. 2. Главные рудные минералы интрузива Мотко (фото в отраженных электронах):

Ab – альбит; Amf – амфибол; Au – золото самородное; Chn – халькозин; Cpy – халькопирит; Ilm – ильменит; Izm – изомертиит; Ktl – котульскит; Mgt – магнетит; NiCuIrPt – интерметаллид, близкий по составу к Cu-гарутииту; Pl – плагиоклаз; Py – пирит; Ru,Os – фаза состава $(Ru, Os, Ir)_{1+x}S_2$; Spr – сперрилит; Tr – торит; Ttn – титанит; Zr – циркон

Благороднометалльная минерализация (см. рис. 2, в–е), представленная самородным золотом, висмутотеллуридами, арсенидами и стибноарсенидами палладия и платины,

Расчет прогнозных ресурсов благородных металлов для интрузива Мотко

№ геохимической или магнитной аномалии	Протяженность, тыс. м	Средняя мощность рудного тела, м	Площадь, тыс. м ²	Объем руды, млн м ³	Объемная масса руды, т/м ³	Ресурсы руды, т	Среднее содержание Pd _р , г/т	Ресурсы по категории P ₂ , т
3	4,4	3,2	660	2,112	3,2	6758,4	1,5	10,1
4	9,5	3,2	1425	4,56	3,2	14592	1,5	21,9
5	5,5	3,2	825	2,64	3,2	8448	1,5	12,7
1	7,5	3,2	1125	3,6	3,2	11520	1,5	17,3
2	7,7	3,2	1155	3,696	3,2	11827,2	1,5	17,7
Итого	2,69	3,2	4035	12,912	3,2	41318,4	1,5	62,0

Примечание. Бортовое содержание в пробе для оконтуривания сечения по мощности рудного тела – 1 г/т; минимальная мощность рудного тела в рудном пересечении – 3 м; коэффициент пересчета в условный металл Pd_р (содержания Au, Pt, Pd < 0,1 г/т и Cu > 0,1 % не учитываются).

реже — минеральными фазами высокотемпературных платиноидов (Ir, Os, Ru), ассоциируется с сульфидами меди и высокожелезистым Cl-содержащим (до 1 %) амфиболом (феррогастингсит). Доминируют котульскит и сперриллит. Размерность этих минералов преимущественно 3–8 мкм.

Прогнозные минеральные ресурсы интрузива Мотко

Титаномагнетитовое оруденение интрузива, согласно современным требованиям к такого рода сырью [17], является некондиционным.


Прогнозные ресурсы благороднометалльного оруденения на основании имеющихся аналитических определений содержаний Pt, Pd, Au, Cu и геолого-геофизических данных о размерности рудного горизонта на отдельных проявлениях интрузива, согласно действующим нормативным документам, оценены по категории P₂ на глубину 150 м (см. таблицу).

Заключение

Габбро-долеритовый интрузив Мотко имеет дифференцированное строение с обособлением стратифицированного рассеянного

титаномагнетитового горизонта и совмещенной с ним зоной благороднометалльного оруденения. В геофизических полях интрузив и рудный горизонт отображаются контрастными магнитными аномалиями. По геологическим наблюдениям, геофизическим данным и результатам опробования в пределах интрузива выделено 5 рудных зон протяженностью от 4 до 9 км и средней мощностью около 3 м. Благороднометалльная минерализация, представленная самородным золотом и висмутотеллуридами, арсенидами и стибииарсенидами палладия и платины, реже — фазами высокотемпературных платиноидов (Ir, Os, Ru), тесно ассоциирует с халькопиритом, халькозином и высокожелезистым Cl-содержащим (до 1 %) феррогастингситом. Доминируют котульскит и сперриллит с размерностью зерен, не превышающей 10 мкм. По результатам пробирного анализа содержание ΣPt, Pd, Au в руде достигает 2 г/т. Прогнозные ресурсы благородных металлов для интрузива Мотко составляют 62 т (категория P₂). В северо-западной части интрузива установлены благоприятные структурные признаки для возможного нахождения здесь оруденения офсетного (перемещенного) типа, характеризующегося, как правило, более высокими содержаниями благородных металлов, чем в рудном горизонте (риффе).

Библиографический список

1. Barnes S. J., Mungall J. E., Maier W. D. Platinum group elements in mantle melts and mantle samples // *Lithos*. 2015. Vol. 232. P. 395–417.
2. Mudd G. M., Jowitt S. M., Werner T. T. Global platinum group element resources, reserves and mining — A critical assessment // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 622–623. P. 614–625.
3. Thi Hong Nguyen, Chong Ho Sonu, Man Seung Lee. Separation of platinum(IV) and palladium(II) from concentrated hydrochloric acid solutions by mixtures of amines with neutral extractants // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2015. Vol. 32. P. 238–245.
4. Гурская Л. И., Додин Д. А. Минеральные ресурсы платиновых металлов России: перспективы расширения // *Региональная геология и металлогения*. 2015. № 64. С. 84–93.
5. Федосеев И. В., Баркан М. Ш. Извлечение платиновых и цветных металлов из лежалых хвостов Норильской обогатительной фабрики // *Цветные металлы*. 2014. № 5. С. 33–38.
6. Петров С. В. О зависимости флотационного извлечения платиноидов от содержания металлов в руде // *Обогащение руд*. 2015. № 5. С. 14–19. DOI: 10.17580/ot.2015.05.03
7. Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Филиппов Н. Б. Платиноидно- и золотосодержащие ванадий-титаномагнетитовые месторождения в дифференцированных габбро-долеритовых интрузивах Карелии // *Платина России: проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в.* : сб. науч. тр. — М. : Геоинформмарк, 1999. Т. 3. С. 200–211.
8. Нандретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд : пер. с англ. — СПб. : СПбГУ, 2003. — 487 с.
9. Быховский Л. З., Пахомов Ф. П., Турлова М. А. Минерально-сырьевая база и перспективы комплексного использования титаномагнетитовых и ильменитовых магматогенных месторождений России // *ГИАБ*. 2008. № 1. С. 209–215.
10. Zientek M. L. Magmatic Ore Deposits in Layered Intrusions — Descriptive Model for Reef-Type PGE and Contact-Type Cu-Ni-PGE Deposits : Open-File Report 2012–1010. — Reston : U.S. Geological Survey, 2012. — 48 p.
11. Гонзальский Б. И. Месторождения уникальной металлогенической провинции Северного Забайкалья. — М. : ВИМС, 2015. — 247 с.
12. Нерадовский Ю. Н., Грошев Н. Ю., Войтеховский Ю. Л., Бороздина С. В., Савченко Е. Э. О минералах платины, палладия, серебра и золота в Порьереченском титаноносном комплексе (Кольский полуостров) // *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2017. № 3. С. 71–87.
13. Karykowski B. T., Polito P. A., Maier W. D., Gutzmer J., Krause J. New insights into the petrogenesis of the Jameson Range layered intrusion and associated Fe-Ti-P-V-PGE-Au mineralisation, West Musgrave Province, Western Australia // *Mineralium Deposita*. 2017. Vol. 52. Iss. 2. P. 233–255.
14. Иващенко В. И., Голубев А. И. Золото и платина Карелии: формационно-генетические типы оруденения и перспективы. — Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2011. — 369 с.
15. Голубев А. И., Иващенко В. И. Прогнозная оценка ресурсной базы благородных металлов в перспективных рудных районах Карельского региона // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Сер. Геология докембрия*. 2017. № 2. С. 42–59.
16. Кочнев-Первухов В. И., Заскинд Е. С., Конкина О. М., Ивановская В. П., Матевич Т. Н. Минеральное сырье. Металлы платиновой группы : справочник. — М. : Геоинформмарк, 1998. — 58 с.
17. The JORC Code : Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. 2012 ed. / Joint Ore Reserves Committee, 2012. URL: http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf (дата обращения: 19.07.2018). 

«GORNYY ZHURNAL», 2019, № 3, pp. 35–39
DOI: 10.17580/gzh.2019.03.07

Noble metal potential of Motko intrusion

Information about authors

K. A. Konevin¹, Geologist

V. I. Ivashchenko², Leading Researcher, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, ivashche@krc.karelia.ru

¹Industria, Petrozavodsk, Russia

²Institute of Geology, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Abstract

The article describes scientific research results and field data (exploration and appraisal stage) on Proterozoic gabbro–dolerite intrusion Motko in Central Karelia. The geology of the structure, differentiation and lithology are characterized in brief. It is shown that the currently used geological and geophysical survey techniques are the optimized package tool for tracing and delineating the titanium–magnetite horizon. The noble metal mineralization spatially adjoins the titanium–magnetite mineralization in the intrusion and is accompanied by the copper sulphide mineralization. Native gold and platinoids represented by bismuth–telluride, arsenide and stibioarsenide of palladium and platinum, and seldom—by phases of high-temperature platinoids (Ir, Os, Ru), are associated with chalcopyrite and highly ferruginous Cl-containing (to 1 %) ferrohastingsite. Cotulskite and sperillite

with particles no more than 10 μm in size prevail. According to geophysical data and assaying results, within the intrusion, five ore zones are identified (length of 4–9 km, average thickness of 3 m, Pd, content of 1.5 g/t), with the total probable reserves of noble metal category P_2 of 62 t.

Keywords: Karelia, Proterozoic gabbro–dolerite magmatism, Motko intrusion, titanium–magnetite horizon, noble metal mineralization, Pudozhgorsky Au–Pt–Pd–titanium–magnetite type, Cl-containing amphiboles.

References

- Barnes S. J., Mungall J. E., Maier W. D. Platinum group elements in mantle melts and mantle samples. *Lithos*. 2015. Vol. 232. pp. 395–417.
- Mudd G. M., Jowitt S. M., Werner T. T. Global platinum group element resources, reserves and mining – A critical assessment. *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 622–623. pp. 614–625.
- Thi Hong Nguyen, Chong Ho Sonu, Man Seung Lee. Separation of platinum(IV) and palladium(II) from concentrated hydrochloric acid solutions by mixtures of amines with neutral extractants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2015. Vol. 32. pp. 238–245.
- Gurskaya L. I., Dodin D. A. Mineral resources of platinum group metals in Russia: expansion prospects. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*. 2015. No. 64. pp. 84–93.
- Fedoseev I. V., Barkan M. Sh. Extraction of platinum and non-ferrous metals from old tails of Norilsk concentration plant. *Tsvetnye Metally*. 2014. No. 5. pp. 33–38.
- Petrov S. V. Upon dependence of platinum–group metals flotation recovery on metals grade in ore. *Obogashchenie Rud*. 2015. No. 5. pp. 14–19. DOI: 10.17580/or.2015.05.03
- Trofimov N. N., Golubev A. I., Filippov N. B. Platinoid- and gold-bearing vanadium–titanium–magnetite deposits in the differentiated gabbro–dolerite intrusions in Karelia. *Platinum of Russia. Problems of development of the platinum metals resource base in the XXI century: collection of transactions*. Moscow: Geoinformmark, 1999. Vol. 3. pp. 200–211.
- Naldrett A. J. Magmatic Sulfide Deposits of Nickel–Copper and Platinum–metal ores. Translated from English. Saint Petersburg: SPbGU, 2003. 487 p.
- Bykhosvkii L. Z., Pakhomov F. P., Turlova M. A. Minerals and raw materials base and integrate use prospects of titanium–magnetite and ilmenite magmatogenic deposits in Russia. *GIAB*. 2008. No 1. pp. 209–215.
- Zientek M. L. Magmatic Ore Deposits in Layered Intrusions – Descriptive Model for Reef-Type PGE and Contact-Type Cu–Ni–PGE Deposits : Open-File Report 2012–1010. Reston : U.S. Geological Survey, 2012. 48 p.
- Gongalskii B. I. Mineral deposits in the unique metallogenic province of the Northern Transbaikalian region. Moscow: VIMS, 2015. 247 p.
- Neradovsky Yu. N., Groshev N. Yu., Voytekhoysky Yu. L., Borozdina S. V., Savchenko E. E. Minerals of platinum, palladium, argentum and gold of the Poryerechensky titan-bearing complex (Kola peninsula). *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017. No. 3. pp. 71–87.
- Karykowski B. T., Polito P. A., Maier W. D., Gutzmer J., Krause J. New insights into the petrogenesis of the Jameson Range layered intrusion and associated Fe–Ti–P–V–PGE–Au mineralisation, West Musgrave Province, Western Australia. *Mineralium Deposita*. 2017. Vol. 52, Iss. 2. pp. 233–255.
- Ivashchenko V. I., Golubev A. I. Gold and platinum of Karelia: genetic types of mineralization and prospects. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2011. 369 p.
- Golubev A. I., Ivashchenko V. I. Prognostic estimate of noble-metal resources in promising ore districts of the Karelian region. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Ser. Geologiya dokembriya*. 2017. No. 2. pp. 42–59.
- Kochnev-Perukhov V. I., Zaskind E. S., Konkina O. M., Ivanovskaya V. P., Matevich T. N. Mineral raw materials. Platinum group metals: Handbook Moscow: Geoinformmark, 1998. 58 p.
- The JORC Code: Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. 2012 ed. Joint Ore Reserves Committee, 2012. Available at: http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf (accessed: 19.07.2018).

