

УДК 553.491(470.22)

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ВИКША – ПЕРВЫЙ КРУПНЫЙ ПРОМЫШЛЕННО-ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫЙ РУДНЫЙ ОБЪЕКТ НА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ



А. В. КОРНЕЕВ¹,
главный геолог,
KorneevAV@polimetal.ru



А. С. ВИККО¹,
главный геолог проекта



Н. В. ФАТОВ¹,
геолог 2-й категории



В. И. ИВАЩЕНКО²,
ведущий научный сотрудник,
канд. геол.-минерал. наук

¹ООО «Индустрия», Петрозаводск, Россия

²Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Введение

Основой минерально-сырьевой базы металлов платиновой группы (МПГ) России являются уникальные Норильские медно-никелевые месторождения. Более половины добываемого здесь сырья – богатые руды. Вследствие этого производство МПГ в России, почти полностью базирующееся на Норильских месторождениях, подвержено определенной уязвимости из-за неизбежного снижения доли богатых руд в общем объеме добычи и существенных потерь платиноидов в ходе их попутного извлечения при выплавке никеля и меди [1]. В стратегическом аспекте данный факт предопределяет постепенное снижение качества остаточных запасов и может вызвать спад производства МПГ и утрату Россией лидирующих позиций в мировом производстве платиноидов. Запасы других МПГ-добывающих регионов (Мурманской области, Хабаровского края, Корякии) по сравнению с Норильским – крайне незначительны. Соответственно все это диктует необходимость поисков в стране альтернативных минерально-сырьевых источников МПГ, в том числе с нетрадиционными для России типами руд. К таким рудным объектам на рубеже XX и XXI веков были отнесены [2–5] комплексные титаномагнетитовые месторождения в Пудожгорском и Койкарском габбро-долеритовых силлах на территории Карелии – региона в европейской части Российской Федерации, характеризующегося благоприятными географо-климатическими условиями и развитой инфраструктурой. Впоследствии в пределах Койкарского силла компанией Polymetal International plc, владеющей лицензией на осуществление

Рассмотрены перспективы промышленного освоения месторождения, основывающиеся на данных о его геологическом строении, минеральном составе руд и выявленных ресурсах, прошедших независимую аудит-оценку компании AMC Consultants в соответствии с Кодексом JORC.

Ключевые слова: Карелия, Койкарский габбро-долеритовый силл, благороднометалльное месторождение Викша, титаномагнетитовый горизонт, компания Polymetal International plc.

DOI: 10.17580/gzh.2019.03.06

здесь поисково-оценочных работ, было открыто месторождение (Pd, Pt, Au, Cu) Викша, рассматриваемое в данной статье.

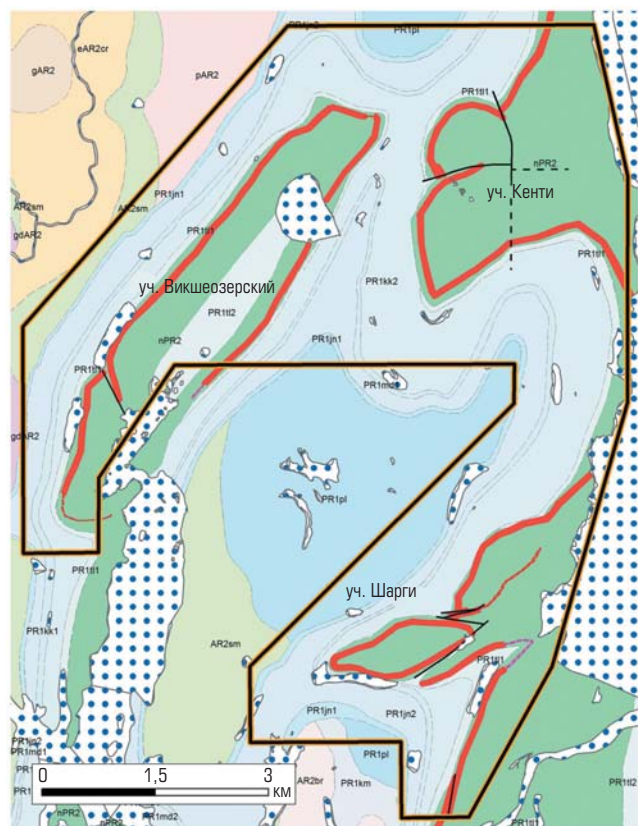
На площади месторождения были проведены поисковые (детальное картирование, геохимическая и геофизическая съемка) и разведочные (бурение, горные выработки и др.) работы. В 2012–2014 гг. было пробурено 166 скважин общим объемом 22145 м. В июле 2016 г. компания Polymetal International plc получила лицензию на добычу металлов платиновой группы и золота на месторождении Викша.

При проведении работ анализы на Pt, Pd, Au выполняло пробирным методом ООО «Стюарт Геокемикл Энд Эссей» (г. Москва), на сопутствующие элементы (ICP-AES-анализ на 37 элементов) – АО «Иргиридмет» (г. Иркутск). Исследование рудных минералов велось в Институте геологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) на электронном микроскопе SEM VEGA II LSN с микроанализатором INCA Energy 350 [6] и в Санкт-Петербургском университете (программа MLA3.1, метод SPL-GXMAP, флотационные концентраты) [7].

Общая характеристика месторождения

Месторождение Викша расположено на территории Республики Карелия в 90 км к северу от г. Петрозаводска. Оно локализовано в Койкарском габбро-долеритовом силле, интрузирующем палеопротерозойские вулканогенно-осадочные толщи в западном борту Онежской структуры. Койкарский силл совместно с другими аналогичными интрузиями (Пудожгорской, Чинозерской, Янгозерской и др.) и базальтовыми вулканидами образует обширную трапповую провинцию [8] с возрастом около 2 млрд лет [9]. Большинство этих интрузий имеют дифференцированное строение с отчетливо выраженным горизонтом титаномагнетитовых руд.

Койкарский силл габбро-долеритов протяженностью около 20 км (от пос. Койкары до пос. Святнаволоок) и мощностью 120–235 м на современном эрозионном срезе представлен двумя разобщенными, преимущественно пологопадающими (15–25°) телами (крылья синформы): Святнаволоокским, протягивающимся вдоль западного берега Пальеозера, и Койкарским – район Викшозера. В его строении выделяются: нижняя, относительно меланократовая часть мощностью 30–60 м, сложенная долеритами и габбро-долеритами;



Условные обозначения

- Контур лицензионной площади месторождения Викша
- Положение благороднометаллового горизонта (БМГ)
- Тупомозерская свита
- PR1j11** Нижняя подсаита. Кварцевые конгломераты, гравелиты, песчаники, карбонатсодержащие песчаники, алевролиты, сланцы
- Койкарская свита
- PR1k2** Верхняя подсаита. Лавы и туфобрекчи базальтов массивных и мицдалекаменных, роговообманковые порфириты, туфопесчаники
- PR1k1** Нижняя подсаита. Палевошлато-кварцевые песчаники, гравелиты, кварцевые конгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники и алевролиты
- Янзюзерская свита
- PR1j2** Верхняя подсаита. Лавы, лавобрекчи, туфы базальтов, плагиоклазовые порфириты, силициты
- PR1j1** Нижняя подсаита. Кварцевые конгломераты, гравелиты, кварцитопесчаники, аркозы, кварц-гранитные брекчи
- PR1j** Пальеозерская свита. Полимиктовые конгломераты, гравелиты, грауважковые песчаники, туфоконгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники
- Верхний архей. Лопий
- AR2cm** Свеченская серия нерасчлененная. Сланцевые амфиболиты, роговообманковые и биотит-роговообманковые сланцы по базальтам, метавандеиты, метадициты и кварц-хлоритовые сланцы, хлорит-тремолитовые и тальк-карбонатные сланцы по коматиитам
- Интрузивные комплексы**
- Нижний протерозой (карелий)**
- PR1k** Койкарский комплекс. Силлы габбро-долеритов с титаномагнетитовой минерализацией
- Поздний архей (Лопий)**
- Поздний лопий**
- Сайозерский комплекс габбро-монцит-сиенит-гранитовый**
- Поздняя фаза.** Граносиениты биотитовые и амфибол-биотитовые
- AR2r** **Средняя фаза.** Меласиниты, лейкосиниты, сиенодиориты порфировидные и трахитоидные
- Средний лопий**
- Сайозерский комплекс габбро-диорит-плагиогранитовый**
- Поздняя фаза.** Плагиограниты, плагиогранит-порфиры, кварцевые порфиры

Рис. 1. Схема геологического строения месторождения Викша

средняя — крупнозернистые шпирово-такситовые лейкогаббро-долериты, субщелочные диориты и гранофиры; верхняя — закаленные мелкозернистые долериты [10]. Сходное строение свойственно некоторым интрузивам с комплексным (Fe-Ti-V-Cu-Pt-Pd-Au) оруденением в других регионах мира [11, 12], отличающимся в большинстве случаев более значительной мощностью дифференциатов и присутствием в приподошвенной части оливиновых габбро [12, 13]. Стратифицированный рудный титаномагнетитовый горизонт мощностью 7–20 м прослеживается практически на всем протяжении силла. Его наиболее богатая часть с содержанием титаномагнетита до 50 % располагается выше подошвы силла на 33–36 м, а благороднометалльный риф мощностью 5–11 м, по данным бурения, частично совпадает с титаномагнетитовым горизонтом — в 38–45 м от подошвы [6, 14]. Благороднометалльная минерализация в пределах рифа

распределена зонально — с преобладанием золота и меди в его верхней части, и палладия — в нижней. В естественных обнажениях рудный горизонт прослежен на протяжении 20 км.

Месторождение Викша в составе трех сопредельных участков (Викшеозерский, Кенти, Шарги) расположено в северной части Койкарского силла, а собственно Викшеозерский участок приурочен к локальной асимметричной синклинали структуры северо-восточного простирания (рис. 1), северо-западное крыло которой пологое (15–25°), а юго-восточное — субвертикальное.

Минералогия оруденения

Рудная минерализация на месторождении Викша представлена главным образом тремя последовательно образовавшимися ассоциациями: титаномагнетит (магнетит-ильменит-I, распад твердого раствора); ильменит-II (собирательная перекристаллизация ильменита-I); сульфиды Cu, Fe, Ni, Co, арсениды, стибноарсениды, станиды, сульфиды и висмутотеллуриды Pt и Pd, самородное золото; сульфиды Pb, Zn, клаусталит, электрум, науманнит, гессит.

Главным рудным минералом титаномагнетитового горизонта является, соответственно, титаномагнетит (Ti 3–16 %), образующий октаэдрические и скелетные кристаллы, второстепенными — ильменит, титанит. Ильменит встречается в виде ламелл в кристаллах магнетита (распад твердого раствора) и обособленных зерен и их плотных скоплений, сформированных, вероятно, при гидротермально-метаморфических преобразованиях пород. Суммарное содержание титаномагнетита и ильменита в габбро-долеритах рудного горизонта варьирует в пределах 20–50 %.

Благороднометалльная минерализация представлена микро-размерными (0,1–15 мкм) выделениями науманнита, гессита, арсенопалладинита, палладоарсенида, паларстанида, сперрилита, изомертита, мертиита-II, винцентита, мончеита, паоловита, брэггита, куперита, высококита, атокита, холлингвортита, котульскита, стиллуотерита, станнопалладинита, самородного золота, электрума и фазы состава (Pt, Cu, Co)₄S₅ [6, 7, 14]. Из них наиболее распространенными являются арсениды платины и палладия, а наименее — их сульфиды, а также котульскит, мертиит, атокит, меренскиит, холлингвортит, гессит и золото. Несмотря на столь разнообразную в видовом отношении благороднометалльную минерализацию, среднее содержание платиноидов и золота в рудах составляет ~1 г/т, что является характерным для такого типа оруденения в целом [15–17].

Минералы благородных металлов тесно ассоциируют с сульфидными (халькопирит, борнит, пирит, линнеит, карролит, галенит, сфалерит), высокожелезистым Cl-содержащим (до 5 %) феррогастингситом, изредка — с клаусталитом. В виде микровключений удлиненных и изометричных зерен и их сростаний они встречаются в пироксене, амфиболе, халькопирите. Тонкодисперсное золото часто образует сростки с минералами платиноидов в наиболее богатых рудах. Как изоморфная примесь золото отмечается в палладоарсениде, паларстаниде и стиллуотерите [6].

Запасы и прогнозные ресурсы месторождения

Запасы титаномагнетитовых руд составляют 314,1 млн т с содержаниями Fe_{ван} ~20–47,9 %, TiO₂ 3,7–8,1 %, V₂O₅

Минеральные ресурсы месторождения Викша для отработки открытым способом до глубины 240–305 м [14]

Участки	Ресурсы		Содержание				Металл			
	Категория	млн т	Pd, г/т	Pt, г/т	Au, г/т	Cu, %	Pd, млн унций	Pt, млн унций	Au, млн унций	Cu, тыс. т
Викша	Выявленные	27	0,6	0,2	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	29,6
	Предполагаемые	52	0,6	0,2	0,1	0,09	1,0	0,3	0,2	49,5
Кенти	Выявленные	98	0,6	0,2	0,1	0,11	1,9	0,6	0,4	109,6
Шарги	Предполагаемые	36	0,6	0,2	0,1	0,08	0,7	0,2	0,1	31,7
Всего	Выявленные плюс предполагаемые	213	0,6	0,2	0,1	0,10	4,2	1,4	0,9	220,6

Примечания. 1) Бортовое содержание: 0,5 г/т палладиевого эквивалента. Палладиевый эквивалент был рассчитан по формуле, основанной на предполагаемых ценах на металлы и полном извлечении. Формула палладиевого эквивалента: $Pd_{Eq} = Pd_{(г/т)} + Pt_{(г/т)} \times 1,57 + Au_{(г/т)} \times 1,61 + Cu_{(г/т)} \times 2,33$. Коэффициент-множитель, указанный для каждого металла, представляет собой коэффициент пересчета металла в палладий на основе значения коэффициента извлечения. В уравнении эквивалентности использованы следующие предполагаемые цены, долл. США: 750/унцию Pd, 1180/унцию Pt, US\$ 1200/унцию Au и 5700/т Cu. В формуле палладиевого эквивалента использованы следующие предполагаемые значения коэффициентов извлечения при флотации: 76,4 % Pd; 71,5 % Pt; 74,5 % Au и 78,3 % Cu. Процент оплачиваемого металла при переработке концентрата на аффинажном заводе: 90 % Pd; 90 % Pt; 94 % Au и 100 % Cu. 2) Из-за округления суммы отдельных значений не всегда равны итоговой сумме.

0,13–1 % [18]. Во второй половине XX в. они были отнесены к забалансовым вследствие несоответствия современным кондиционным требованиям.

Для подсчета запасов и ресурсов металлов платиновой группы и золота были проведены буровые работы и осуществлена проходка канав с последующим керновым и борздовым опробованием (рис. 2). Выполнены технологические исследования руд месторождения.

Установлено, что содержания металлов платиновой группы и золота в благороднометалльном рифе составляют, г/т: Pt – 0,022–0,8; Pd – 0,026–2,4; Rh – <0,003; Σ ЭПГ – 0,9–3; Au – 0,008–2,3 [6], наиболее возрастающая в его верхней части. Концентрации сопутствующих рудных элементов невысокие, г/т: Cu – 620–1700; Zn – 260–380; Pb – 5–8; As – 2,4–4,8; Sb – 2,26–2,5; Te – 1,5–2; Bi – ~0,2–0,3; Sn – 2–2,5. В рудах установлена положительная корреляция между содержаниями Cu и Au, Te, Re, P, REE, Be, Zr, Hf, Th [7], платиноидов с Au, As, Sb, Te, Sn [6].

Согласно независимой аудит-оценке, проведенной компанией AMC Consultants в соответствии с Кодексом JORC [19], минеральные ресурсы месторождения Викша составляют 213 млн т со средним содержанием 0,98 г/т Σ Pd,Pt,Au и 0,1 % меди (см. таблицу).

Общее количество благородных металлов оценивается в 6,6 млн унций, что характеризует Викшу как крупное месторождение металлов платиновой группы, пригодное для открытой разработки. Ресурсы были ограничены путем создания серии оптимальных проектных контуров карьера. Глубина карьера варьировалась от 240 до 305 м ниже поверхности.

Заключение

Приведенные данные о месторождении Викша, характеризующегося большими (6,6 млн унций) минеральными ресурсами



Рис. 2. Борздовое опробование на месторождении Викша

благородных металлов, с высокой вероятностью свидетельствуют, что создание на его базе самостоятельного горнодобывающего предприятия экономически оправданно и технически осуществимо.


1. Выходящий на поверхность благороднометалльный риф значительной мощности пригоден для крупнообъемной отработки открытым способом и не требует значительных затрат. Пологое залегание рифа определяет низкие коэффициенты вскрыши.

2. Месторождение расположено в регионе с благоприятными географо-климатическими условиями, развитой инфраструктурой и достаточным количеством квалифицированной рабочей силы. Территория в контурах месторождения покрыта лесом, какие-либо сельскохозяйственные работы на ней не ведут, населенные пункты отсутствуют.

3. Минеральный состав руд предполагает флотационную схему обогащения для производства коллективного медно-МПП-сульфидного концентрата, который может быть переработан на аффинажных заводах по производству МПП или на медеплавильных заводах.

Библиографический список

- Гурская Л. И., Додин Д. А. Минеральные ресурсы платиновых металлов России: перспективы расширения // Региональная геология и металлогения. 2015. № 64. С. 84–93.
- Трофимов Н. Н., Голубев А. И. Генезис комплексного благороднометалльного и титаномагнетитового оруденения в дифференцированных габбро-долеритовых интрузиях Карелии // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов (проблемы генезиса и освоения): тез. докл. I Междунар. симпозиума. – СПб., 1996. С. 162–164.
- Трофимов Н. Н., Голубев А. И. Пудожгорское благороднометалльное титаномагнетитовое месторождение. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. – 123 с.
- Иващенко В. И., Голубев А. И. Золото и платина Карелии: формационно-генетические типы оруденения и перспективы. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. – 369 с.
- 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.

6. Олейник И. Л., Кулешевич Л. В. благороднометалльная минерализация Койкарского силла (Карелия) // Региональная геология, минералогия и полезные ископаемые Кольского полуострова : тр. XIII Всероссийской (с междунар. участием) Фермановской научной сессии. – Апатиты : К & М, 2016. С. 190–194.
7. Borozdin A. P., Petrov S. V., Polekhovskiy Yu. S., Tarasova I. P., Bulavin A. V. et al. The mineral assemblage of Au-PGE-Cu-V-Ti-Fe ores in the Vikshozero ore occurrence (Koykar sill, South Karelia, Russia) // Proceedings of the 12th International Platinum Symposium : Abstracts. – Yekaterinburg : IGG UB RAS, 2014. С. 63–64.
8. Голубев А. И., Иваников В. В., Филиппов Н. Б., Малашин М. В. Карельская трапповая провинция: на примере магматической и геодинамической эволюции плюма в раннем протерозое // Мантийные плюмы и металлогения : матер. междунар. симпозиума. – Петрозаводск, 2002. С. 60–67.
9. Филиппов Н. Б., Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Сергеев С. А., Хухма Х. Новые геохронологические данные по Койкарско-Святонаволкскому и Пудожгорскому габбро-дolerитовым интрузивам // Геология и полезные ископаемые Карелии : сб. ст. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2007. Вып. 10. С. 49–68.
10. Иваников В. В., Малашин М. В., Голубев А. И. Хлоровые амфиболы и биотиты в нижнепротерозойских (ятулийских) траппах Карелии и их металлогеническое значение // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2004. Сер. 7. Геология. География. Вып. 4. С. 103–108.
11. Sá J. H. S., Barnes S.-J., Prichard H. M., Fisher P. C. The Distribution of Base Metals and Platinum-Group Elements in Magnetite and Its Host Rocks in the Rio Jacaré Intrusion, Northeastern Brazil // Economic Geology. 2005. Vol. 100. No. 2. P. 333–348.
12. Polito P. A., Karykowski B. T., Best F. C., Crawford A. J. Magnetite-hosted Cu-PGE and Fe-sulfide mineralization in 1078 Ma layered mafic intrusions in the west Musgraves region of Western Australia // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 90. P. 510–531.
13. Koerber A. J., Thakurta J. PGE-Enrichment in Magnetite-Bearing Olivine Gabbro: New Observations from the Midcontinent Rift-Related Echo Lake Intrusion in Northern Michigan, USA // Minerals. 2019. Vol. 9. Iss. 1. DOI: 10.3390/min9010021
14. Отчеты и результаты / Polymetal International plc, 2019. URL: <https://www.polymetalinternational.com/ru/investors-and-media/reports-and-results/result-centre/> (дата обращения: 26.02.2019).
15. Barkov A. Y., Fedortchouk Y., Campbell R. A., Halkoaho T. A. A. Coupled substitutions in PGE-enriched cobaltite: new evidence from the Rio Jacaré layered complex, Bahia state, Brazil // Mineralogical Magazine. 2015. Vol. 79. Iss. 5. P. 1185–1193.
16. Гонгальский Б. И. Месторождения уникальной металлогенической провинции Северного Забайкалья. – М. : ВИМС, 2015. – 247 с.
17. Нерадовский Ю. Н., Прошев 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.
18. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / под ред. В. П. Михайлова, В. Н. Аминова. – Петрозаводск : Карелия, 2005. Кн. 1. Горючие полезные ископаемые. Металлические полезные ископаемые. – 280 с.
19. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. The JORC Code 2012 Edition. 2012. URL: http://jorc.org/docs/jorc_code2012.pdf (дата обращения: 15.11.2018). 

«GORNVI ZHURNAL», 2019, № 3, pp. 31–34
DOI: 10.17580/gzh.2019.03.06

Viksha deposit – The first large industrially promising PGM locality in Karelia

Information about author

A. V. Korneev¹, Chief Geologist, KorneevAV@polimetal.ru

A. S. Vikhko¹, Chief Project Geologist

N. V. Fatov¹, Cat 2 Geologist

V. I. Ivashenko², Leading Researcher, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences

¹ Industriya, Petrozavodsk, Russian

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

Abstract

The Koikary gabbro-dolerite sill (western flank of the Onega Structure, Karelia), titanomagnetite horizon and a noble-metal reef, which are part of the sill, are briefly described. The data on prospecting, appraisal and exploration within the sill that have led to the discovery of the big Viksha noble-metal (Pd, Pt and Au) deposit are reported. The deposit, consisting of three adjacent sites (Vikshozero, Kenti and Shargi), is located in the northern Koikary sill. Its highest-grade portion with titanomagnetite concentration of up to 50% lies 33–36 m above the bottom of the sill, and the 5–11 m thick noble-metal reef, which coincides partly with the titanomagnetite horizon, is 38–45 m above the bottom as indicated by drilling. Noble-metal mineralization within the reef displays zonal distribution: gold predominates in its upper portion and palladium in the lower one. The ore horizon in natural outcrops has been traced over 20 km. The major ore minerals of the titanomagnetite horizon are titanomagnetite (Ti 3–16%) and ilmenite and those of the noble-metal reef are arsenides, stibioarsenides, stannides and Pt and Pd sulphides, native gold and electrum that occur as micron-sized (0,1–15 µm) grains. PGM and gold concentrations in the ores are low: 0.022–0.8 g/t Pt; 0.026–2.4 Pd; Rh <0.003; ΣPGE-0.9–3; 0.008–2.3 g/t Au. Titanomagnetite ore reserves are 314.1 Mt with ~20–47.9% Fe_{bulk}, 3.7–8.1% TiO₂ and 0.13–1.0% V₂O₅. By independent audit conducted by AMC Consultants in accordance with the JORC Code, the mineral noble-metal resources of the Viksha deposit are estimated as 213 Mt with an average concentration of 0.98 g/t of ΣPd,Pt,Au and 0.1% copper. The total noble-metal reserves are estimated as 6.6 M oz., which means that Viksha is a big PGM deposit suitable for open-pit mining. As its mineral composition is technologically “simple” (no nickel minerals), conventional flotation can be used for the production of bulk copper–PGM–sulphide concentrate, which can be processed at affiliated PGM-producing plants or at copper smelters with a technological cycle for extra platinum dressing.

Keywords: Karelia, Koikary gabbro-dolerite sill, Viksha noble metal deposit, titanomagnetite horizon, Polymetal International plc.

References

1. 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.
2. Trofimov N. N., Golubev A. I. Genesis of complex noble-metal titanomagnetite mineralization in differentiated gabbro-dolerite intrusions in Karelia. *Large and Unique Deposits of Rare and Noble Metals (Genesis and Mining Problems): Headnotes. I International Symposium Proceedings*. Saint-Petersburg, 1996. pp. 162–164.
3. Trofimov N. N., Golubev A. I. Pudozhgorskoe noble-metal titanomagnetite deposit. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2008. 123 p.

4. Ivashchenko V. I., Golubev A. I. Gold and platinum of Karelia: genetic types of mineralization and prospects. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2011. 369 p.
5. 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.
6. Oleinik I. L., Kuleshevich L. V. Koikary sill noble-metal mineralization (Karelia). *Regional Geology, Mineralogy and Minerals of the Kola Peninsula : Proceedings of XIII All-Russian Ferman's Session with International Participation*. Apatity : K & M, 2016. pp. 190–194.
7. Borozdin A. P., Petrov S. V., Polekhovskiy Yu. S., Tarasova I. P., Bulavin A. V. et al. The mineral assemblage of Au-PGE-Cu-V-Ti-Fe ores in the Vikshozero ore occurrence (Koykar sill, South Karelia, Russia). *Proceedings of the 12th International Platinum Symposium : Abstracts*. Yekaterinburg : IGG UB RAS, 2014. pp. 63–64.
8. Golubev A. I., Ivanikov V. V., Filippov N. B., Malashin M. V. Karelian trappean province: In terms of the early Proterozoic magmatic and geodynamic evolution of plume. *Mantle Plumes and metallogeny: International Symposium Proceedings*. Petrozavodsk, 2002. pp. 60–67.
9. Filippov N. B., Trofimov N. N., Golubev A. I., Sergeev S. A., Khukhma Kh. New Gep-chronological data on Koikary–Svyatnavoloksky and Pudozhgorsky gabbro-dolerite intrusions. *Geology and Minerals of Karelia : Collected Works*. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2007. Iss. 10. pp. 49–68.
10. Ivanikov V. V., Malashin M. V., Golubev A. I. Chlorous amphiboles and biotite in the lower Proterozoic (Jatulian) traprocks and their metallogeny in Karelia. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*. 2004. Ser. 7: Geology, Geography. Iss. 4. pp. 103–108.
11. Sá J. H. S., Barnes S.-J., Prichard H. M., Fisher P. C. The Distribution of Base Metals and Platinum-Group Elements in Magnetite and Its Host Rocks in the Rio Jacaré Intrusion, Northeastern Brazil. *Economic Geology*. 2005. Vol. 100, No. 2. pp. 333–348.
12. Polito P. A., Karykowski B. T., Best F. C., Crawford A. J. Magnetite-hosted Cu-PGE and Fe-sulfide mineralization in 1078 Ma layered mafic intrusions in the west Musgraves region of Western Australia. *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 90. pp. 510–531.
13. Koerber A. J., Thakurta J. PGE-Enrichment in Magnetite-Bearing Olivine Gabbro: New Observations from the Midcontinent Rift-Related Echo Lake Intrusion in Northern Michigan, USA. *Minerals*. 2019. Vol. 9, Iss. 1. DOI: 10.3390/min9010021
14. Reports and results. Polymetal International plc, 2019. Available at: <https://www.polymetalinternational.com/ru/investors-and-media/reports-and-results/result-centre/> (accessed: 26.02.2019).
15. Barkov A. Y., Fedortchouk Y., Campbell R. A., Halkoaho T. A. A. Coupled substitutions in PGE-enriched cobaltite: new evidence from the Rio Jacaré layered complex, Bahia state, Brazil. *Mineralogical Magazine*. 2015. Vol. 79, Iss. 5. pp. 1185–1193.
16. Gongalskii B. I. Mineral deposits in the unique metallogenic province of North Transbaikalia. Moscow : VIMS, 2015. 247 p.
17. Neradovskiy Yu. N., Groshev N. Yu., Voytekhovskiy Yu. L., Borozdina S. V., Savchenko E. E. Minerals of platinum, palladium, argentum and gold of the Porьerchensky titan-bearing complex (Kola peninsula). *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017. No. 3. pp. 71–87.
18. Mikhailov V. P., Aminov V. N. (Eds.). Mineral and raw material base of the Republic Karelia. Petrozavodsk : Kareliya, 2005. Book 1. Combustible mineral resources. Metallic mineral resources. 280 p.
19. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. The JORC Code 2012 Edition. 2012. Available at: http://jorc.org/docs/jorc_code2012.pdf (accessed: 15.11.2018).