

УДК 553

Ю.Л. Войтеховский, Ю.Н. Нерадовский,
Н.Н. Гришин, Е.Ю. Ракитина, А.Г. Касиков

Колвицкое месторождение (геология, вещественный состав руд)

Yu.L. Voytekhovsky, Yu.N. Neradovsky, N.N. Grishin, E.Yu. Rakitina, A.G. Kasikov

Kolvitsa field (geology, material composition of ores)

Аннотация. Приведены данные о геологическом строении, текстурах, минеральном и химическом строении Колвицкого месторождения титаномагнетитовых руд. Рассмотрена история открытия и изучения месторождения. Впервые охарактеризован полный минеральный состав руд и вмещающих пород. Показано, что титаномагнетитовое оруденение сопровождается сульфидным медно-никелевым, в котором главными минералами являются пирротин, пентландит, борнит, кубанит, валлериит и макинавит. Присутствие сульфидов в титаномагнетитовой руде обуславливает высокое содержание примеси никеля, меди и кобальта. На основании этого Колвицкое месторождение железо-титано-ванадиевых руд предлагается относить к комплексным Fe-Ti-V-Ni-Cu-Co месторождениям.

Abstract. Findings on the geological structure, texture, mineral and chemical structure of the Kolvitsa titanomagnetite ore deposit have been reported with a history of discovery and exploration attached. For the first time, a full composition of minerals and enclosing rocks of the deposit has been presented. It has been shown that the titanomagnetite mineralization is accompanied by a copper-nickel sulfide mineralization where the principal minerals are pyrrhotine, pentlandite, bornite, cubanite, walleriite, and makinavite. High contents of nickel, copper and cobalt impurities are caused by sulfides of the titanomagnetite ore. On this basis the Kolvitsa iron-titanium-vanadium ore field has been proposed to be considered a complex Fe-Ti-V-Ni-Cu-Co deposit.

Ключевые слова: титаномагнетитовые руды, сульфидные медно-никелевые руды, клинопироксениты, перидотиты, кристаллосланцы, основные гранулиты, Колвицкое месторождение

Key words: titanomagnetite ore, copper-nickel sulphide ore, clinopyroxenite, peridotite, crystalline schists, basic granulites, Kolvitsa field

1. Введение

Колвицкое месторождение Fe-Ti руд расположено в южной части Мурманской области, в 50 км к востоку от г. Кандалакши, вблизи автотрассы Кандалакша – Умба. Впервые жилы сплошных титаномагнетитовых руд обнаружены в 1966 г. при проверке магнито- и гравirazведочных аномалий (Чалых и др., 1967), что послужило основанием для постановки поисковых геолого-геофизических работ (Лимберис и др., 1970). Практические результаты исследований месторождения опубликованы в сообщении (Беляев, Карпов, 1973), научное обобщение по результатам этих работ сделано Б.А. Юдиным (Юдин, 1980; 1987). В дальнейшем месторождение изучалось геохимическими методами на медно-никелевые руды (Борисов, 2008). В процессе изучения месторождения в ГоИ КНЦ РАН и Институте Механообр были проведены технологические испытания обогатимости титаномагнетитовых руд, на основании которых установлено, что из них могут быть получены два концентрата: коллективный титаномагнетит-ильменитовый с содержанием железа 60 % и двуокиси титана – 12 % и медно-никелевый с содержанием 2.5 % никеля и 7 % меди. Показана экономическая целесообразность промышленного освоения Колвицкого месторождения и строительства химико-металлургического завода в г. Кандалакше (Федосеев, Истомин, 1974).

В 1981-1986 гг. в районе месторождения работали геологические отряды ГИ КНЦ РАН с целью сбора материалов для детального изучения состава медно-никелевых руд рудопроявлений "Плотичье", "Железный" и др. В процессе полевых работ из керна скважин, канав и обнажений были отобраны образцы с сульфидным оруденением, изучение которых показало, что Колвицкое месторождение является уникальным комплексным месторождением Fe-Ti-V-Ni-Cu-Co руд, заслуживающим пристального внимания. Начаты новые исследования технологии обогащения комплексных руд. В настоящей статье приведены краткие сведения о геологии месторождения и новые данные о вещественном составе руд.

2. Основные сведения о геологии месторождения

Колвицкое месторождение титаномагнетитовых руд связано с интрузиями ультраосновных пород в нестратифицированных кристаллических сланцах (основных гранулитах) северо-восточнее крупного Колвицкого массива метагаббро-анортозитов (рис. 1). Возраст Колвицкого массива 2.45-2.46 млрд лет (Митрофанов и др., 1993). Гранулитовый метаморфизм происходил в период 1.91-1.94 млрд лет

(Тугаринов, Бибилова, 1980). Достоверный геохронологический возраст рудоносных интрузий не определен. Большинство исследователей они относятся к раннепротерозойским интрузивным образованиям клинопироксенит-верлитовой формации (Юдин, 1980), внедрение которых связано с долгоживущими крупными разломами, контролирующими развитие Имандра-Варзугской и Сальнотундро-Колвицкой подвижных зон (Докучаева, Ефимов, 1988; Пожиленко и др., 2002). По данным Т.Б. Баяновой (личное сообщение), возраст массива "Плотичье", сходного по составу с массивом "Железный", но относящемуся к габбро-лерцолит-вебстеритовой формации (Докучаева, Ефимов, 1988), составляет по U-Pb методу 1836 ± 16 млн лет. Поскольку оно также расположено в гранулитах, то можно предполагать, что малые интрузии в колвицкой зоне с медно-никелевым и титано-ванадиевым оруденением внедрились в толщу кристаллических сланцев после гранулитового метаморфизма.

На участке месторождения установлено 15 массивов (рис. 1), сложенных среднезернистыми пироксенитами, перидотитами и оливинитами, относящимися к клинопироксенит-верлитовой формации.

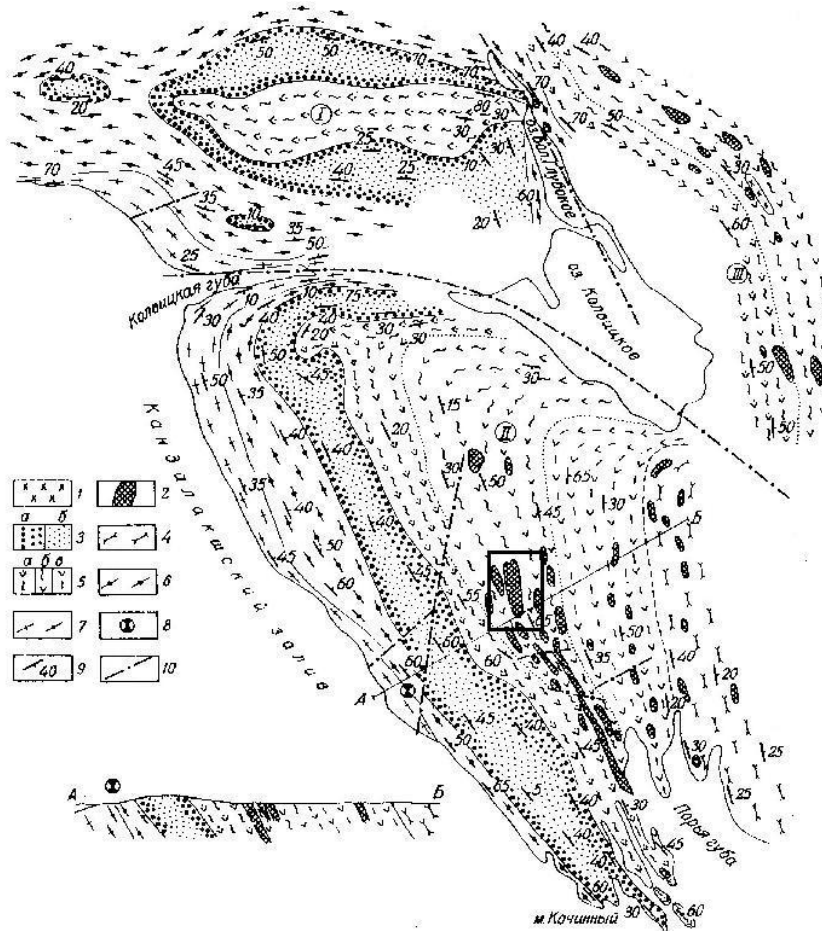


Рис. 1. Обзорная карта района Колвицкого массива и месторождения (Юдин, 1980): 1 – щелочные граниты; 2 – оливиниты, верлиты, клинопироксениты и габбронориты; 3 – габбро-лабрадориты (а – метаморфизованные среднезернистые габбро и габбронориты, б – метаморфизованные крупно- и гигантозернистые лаббро и лабрадориты); 4 – гнейсо-диориты; 5 – метаморфизованные габброиды (а – гранат-амфибол-клинопироксен-плагиоклазовые, б – гранат-двупироксеновые плагиоклазовые, в – клинопироксен-гранат-полевошпатовые породы); 6 – гнейсы с прослоями амфиболитов; 7 – нерасчлененный комплекс гнейсов и гнейсо-гранитов; 8 – местоположение базальных конгломератов; 9 – гнейсовидность и сланцеватость с углом падения; 10 – тектонические нарушения. Тектонические блоки: I – Кандалакшский, II – Колвицкий, III – Восточно-Колвицкий. Прямоугольником обозначен участок месторождения

Наиболее крупный массив клинопироксенитов располагается в северо-западной части, имеет размеры 4×1 км (рис. 2). Массив пересекается сложной тектонической зоной северо-западного простирания, в пределах которой развиты линзы перидотитов и оливинитов с залежами титаномagnetитовых руд, тела габброноритов, кристаллических сланцев. Зона оруденения пересекается

многочисленными поперечными разломами северо-восточного простирания, смещающими рудные тела на расстояние до 50 м. Наиболее перспективный участок содержит серию сближенных залежей титаномагнетитовых руд, которые изучены буровыми работами и канавами по простиранию на 3 км и по ширине 300 м (рис. 2). Титаномагнетитовые руды слагают крутопадающие тела мощностью от 5 до 50 м, по простиранию от 40 до 1500 м, уходящие на глубину более 350 м (рис. 4, 5). Геологические запасы руды оцениваются от 100 до 600 млн тонн при среднем содержании Fe – 40 %, TiO₂ – 7 %, V₂O₅ – 0.2 % (Лимберис и др., 1970; Беляев, Карпов, 1973).

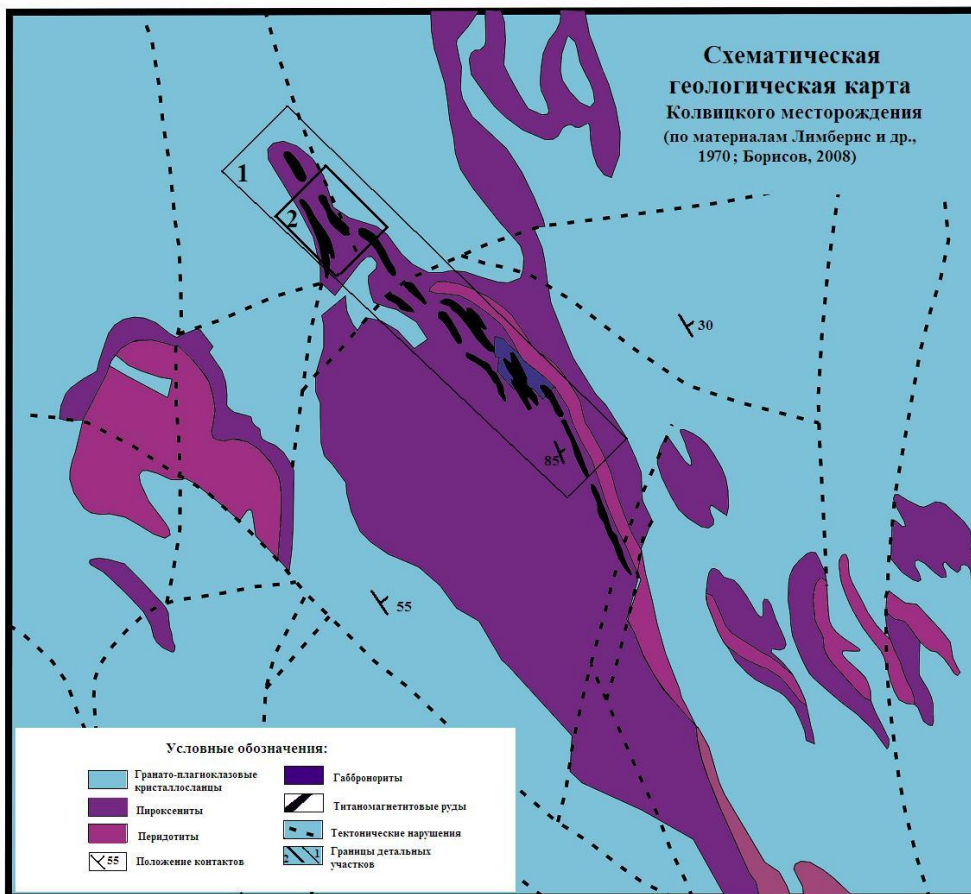


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Колвицкого месторождения: основа – по (Борисов, 2008), детальные участки – 1, 2 по (Лимберис и др., 1970)

3. Типы руд и морфология рудных тел

Титаномагнетитовые руды располагаются в клинопироксенитах и верлитах, текстура руд в основном полосчатая, структура вкрапленная, массивная. По содержанию титаномагнетита выделяются бедные – 30 %, средние – 30-50 %, богатые вкрапленные – 50-80 % и сплошные руды – >80 % (рис. 3). Рудные залежи содержат ксенолиты гранат-плагиоклаз-пироксеновых сланцев мощностью до 1.5 м. Для пластов титаномагнетитовой вкрапленности характерны также включения ассимилированных сланцев, пегматоидные жилы, гнезда плагиоклаза.

Вкрапленные руды преобладают в юго-восточной части, а сплошные руды – в северо-западной части месторождения. Рудные тела, сложенные богатыми рудами, имеют линзообразные и жилообразные формы (рис. 4). Поисковыми работами выделено 22 рудных тела. Контакты богатых руд с вмещающими породами резкие (рис. 5).

Важной особенностью месторождения является сочетание титаномагнетитовых руд с сульфидным медно-никелевым оруденением. Сульфидная вкрапленность в объеме от 1 до 5 % присутствует практически постоянно, распространена и в руде и во вмещающих породах. В руде сульфиды отделены от титаномагнетита (рис. 3), больше развиты в слоях вкрапленных титаномагнетитовых руд, наименее – в сплошной руде. В пределах залежей титаномагнетитовых руд, особенно в висячем боку рудных тел, встречаются сульфидоносные зоны мощностью до 8 м, в этих участках содержание Cu достигает 0.82 % и Ni 0.2 %.

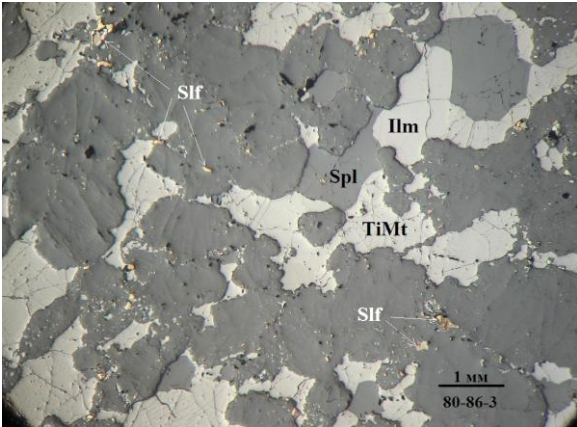


Рис. 3а. Структура средней вкрапленной руды. Фото аншлифа в отраженном свете. Условные обозначения: TiMt – титаномагнетит, Ilm – ильменит, Spl – шпинель, Sif – сульфиды

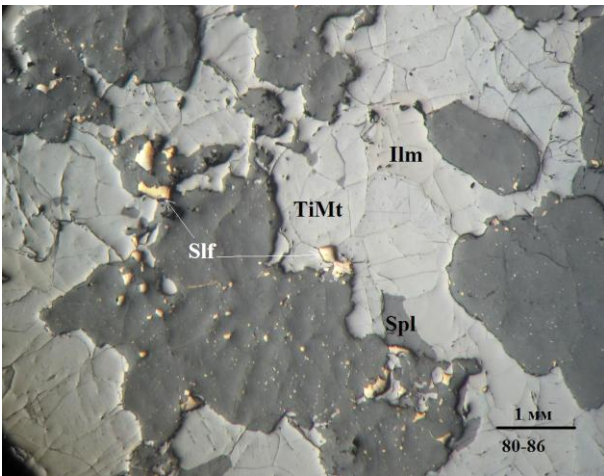


Рис. 3б. Структура богатой вкрапленной руды

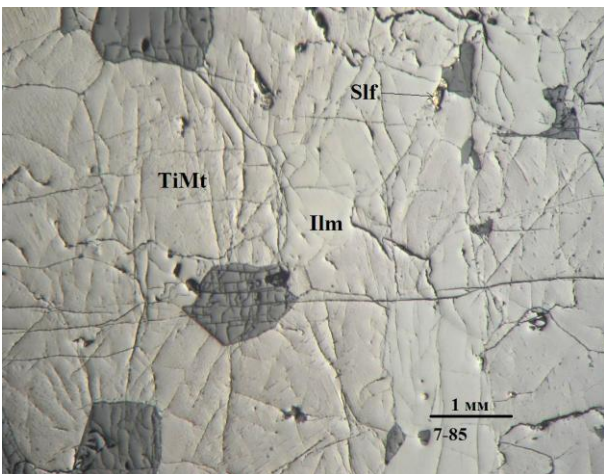


Рис. 3в. Структура сплошной руды

4. Минеральный состав руды (12 образцов): титаномагнетит – 20-93 %, (содержание ульвошпинели в титаномагнетите до 30 % от объема), ильменит до 20 %, шпинель до 5 %, магнетит, сульфиды – 1-5 % (пирротин, пентландит, борнит, кубанит, валлериит, макинавит, виоларит, сфалерит, халькозин), графит.

5. Минеральный состав вмещающих пород

Пироксениты (7 образцов): клинопироксен – 85-88 %, амфибол – 7-8 %, оливин – 1-2 %, биотит – до 3 % и серпентин – 1 %. Рудные минералы: титаномагнетит – 3-10 %, ильменит – до 5 %, шпинель – е.з., сульфиды – е.з. – 2 % (пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит, макинавит, виоларит, борнит, ковеллин), магнетит, кобальтин. Перидотиты (18 образцов): клинопироксен – 50-80 %, оливин – 10-30 %, амфибол – 10-20 %, плагиоклаз – до 5 %, карбонат – 1 % и биотит – е.з. Рудные минералы:

титаномагнетит – до 12 %, ильменит – е.з., шпинель – е.з., сульфиды – до 8 % (пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит, макинавит, валлериит, виоларит, пирит, марказит, ковеллин, халькозин, маухерит, алтаит), гематит, рутил, хромшпинелид. Кристаллосланцы (3 образца): клинопироксен (диопсид-геденбергит) – 5-30 %; ромбический пироксен (гиперстен, энстатит) – 5-25 %; плагиоклаз (андезин, реже лабрадор) – 15-20 % (до 40 %); гранат – до 15 %; амфибол (обыкновенная роговая обманка) – до 15-20 % (до 40 %); биотит – 2-3 %, хлорит, серицит, соссорит, эпидот, карбонаты. Акцессорные минералы – апатит, циркон, ортит, титанит. Рудные минералы: ильменит – 5 %, сульфиды – 1-2 % (пирротин, пентландит, халькопирит, макинавит, виоларит, сфалерит, борнит), гематит.

Данные минерального состава показывают, что сульфидная медно-никелевая минерализация присутствует во всех породах и рудах.

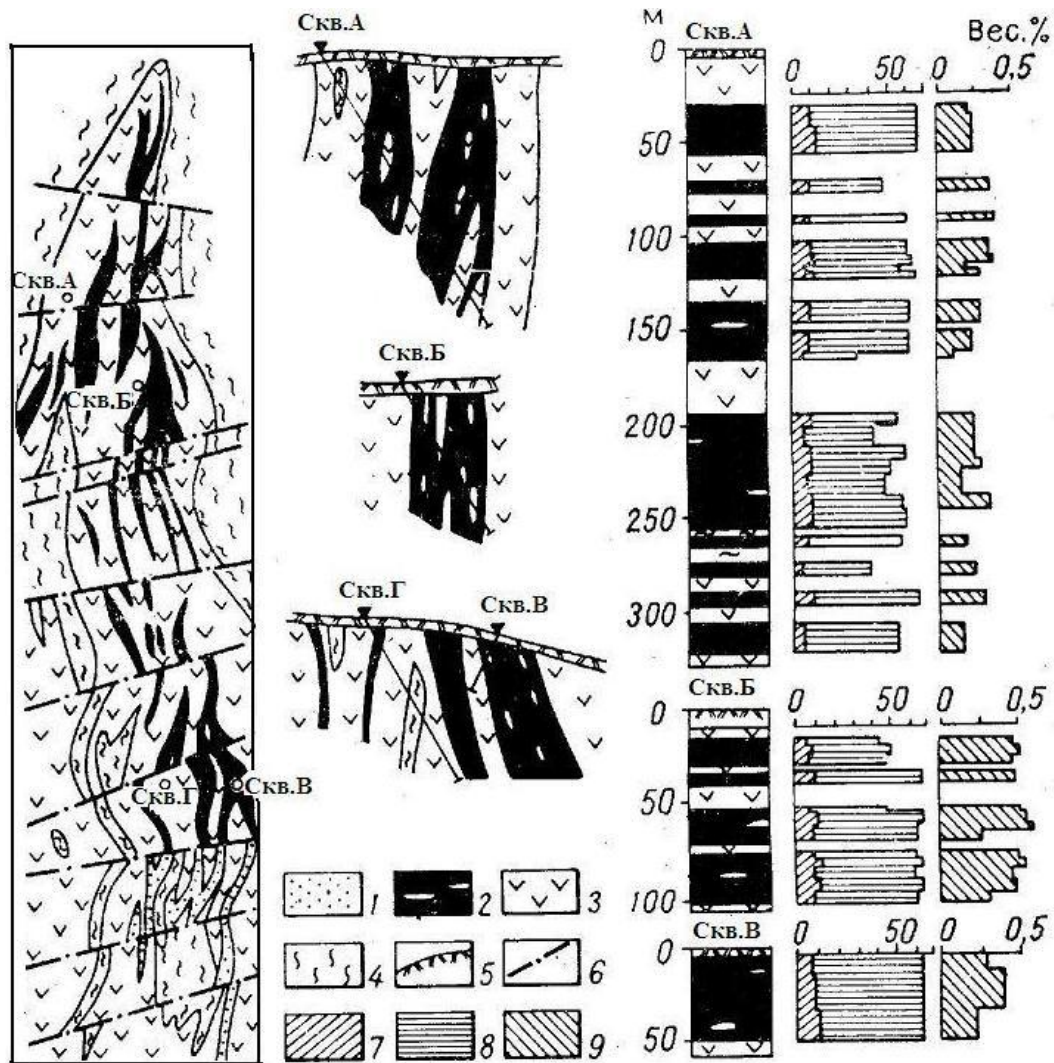


Рис. 4. Строение рудных тел детального участка (рис. 2-1) (Юдин, 1987), по (Лимберис и др., 1970): 1 – вкрапленные руды; 2 – богатые руды с ксенолитами вмещающих пород; 3 – клинопироксениты и верлиты; 4 – метаморфизованные основные породы; 5 – морена; 6 – разломы; 7 – TiO_2 ; 8 – $FeO_{общ}$; 9 – V_2O_5

6. Химический состав руды

В составе титаномагнетитовых руд Колвицкого месторождения (табл.) от 53.96 до 75.76 % общего железа ($Fe_2O_3 + FeO$), от 8.83 до 12.97 % TiO_2 , от 0.34 до 0.60 % V_2O_5 , от 0.024 до 0.17 % Cr_2O_3 , от 0.19 до 0.33 % MnO . Попутные элементы: Ni – 0.018-0.12 %, Co – 0.018-0.038 %, Cu – 0.09-0.29 %, Zn – 0.049-0.067 %, S – 0.23-0.89 %. Шлакообразующие окислы: SiO_2 – 1.14-16.65 %, Al_2O_3 – 4.56-8.17 %, MgO – 2.35-6.13 %, CaO – 0.38-4.61 %. Щелочи: ($Na_2O + K_2O$) – 0.18 %, P_2O_5 – 0.01-0.08 %.

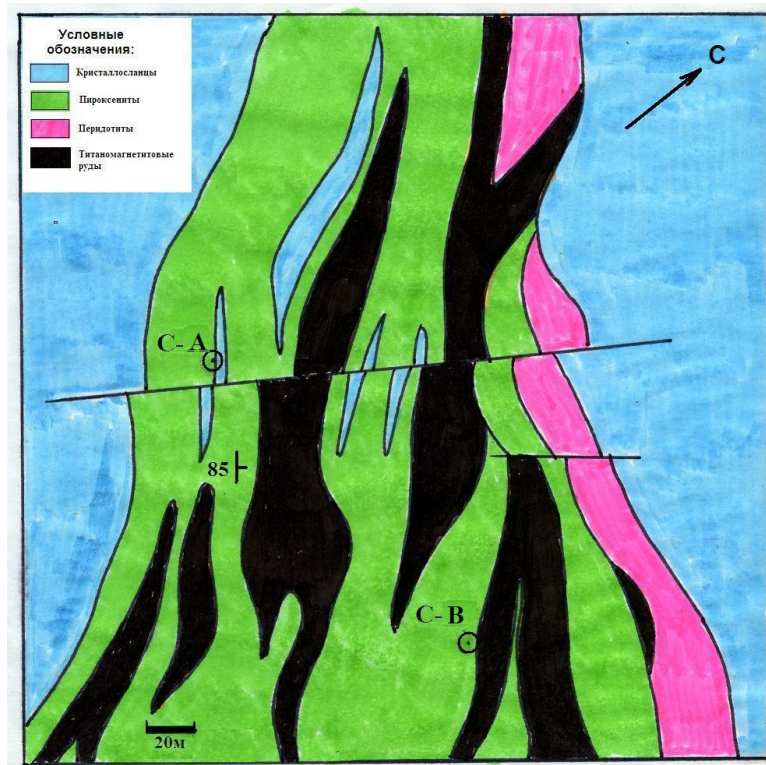


Рис. 5. Схематическая карта детального участка (рис. 2-2)

Данные химического состава показывают, что титаномагнетитовые руды содержат значительное количество примесей, в том числе: Co – 0.018-0.038 %, Ni – 0.05-0.12 % и Cu – 0.09-0.29 %. Отношение $\sum Me(Ni, Cu, Co)/S$ в пробах руды варьирует от 0.29 до 0.93, в среднем составляя 0.68, что в 2 раза выше, чем в сплошных рудах Печенги. Это свидетельствует о высокой доле цветных металлов в сульфидной массе.

Таблица. Химические анализы проб руды

Комп.	1	2	3	4
SiO ₂	2.75	0.95	1.14	16.65
TiO ₂	11.42	12.97	12.74	8.83
Al ₂ O ₃	8.17	6.91	4.56	4.56
Fe ₂ O ₃	41.17	38.44	41.40	31.28
FeO	28.85	36.63	34.36	22.68
MnO	0.19	0.14	0.20	0.33
MgO	4.87	2.35	3.04	6.13
CaO	0.46	0.38	0.54	4.61
Na ₂ O	0.15	0.10	0.10	0
K ₂ O	0.03	0.08	0.08	0
H ₂ O _{крист}	0.08	0	0	0
P ₂ O ₅	Не опред.	0	0.01	0.08
V ₂ O ₅	0.34	0.60	0.43	0.43
Cr ₂ O ₃	0.024	0.17	0.13	0.036
Ni	0.12	0.05	0.06	0.018
Co	0.038	0.019	0.024	0.018
Cu	0.29	0.09	0.105	0.22
Zn	Не опред.	0.058	0.049	0.067
S	0.48	0.23	0.23	0.89
Сумма:	99.43	100.16	99.19	96.87

Примечание: 1 – средняя проба руды по 4 скважинам (данные авторов); 2-3 – сплошная руда; 4 – вкрапленная руда; 2-4 – анализы из работы (Юдин, 1987).

7. Заключение

1. Колвицкое месторождение является перспективным промышленным объектом, требующим дальнейшего глубокого исследования минерального состава и разработки технологии обогащения. В геологическом отношении месторождение приповерхностное, легкодоступное, с возможностью открытой отработки до глубины 300 м, расположенное в районе с развитой инфраструктурой (дороги, линии электропередач, город с промышленными предприятиями).

2. Месторождение представлено минеральной ассоциацией группы черных и цветных металлов Fe-Ti-V-Ni-Cu-Co, обусловленной сочетанием оксидных железо-титан-ванадиевых и сульфидных медно-никелевых руд. Комплексное оруденение позволяет получить концентраты для предприятий черной (Fe, Ti, V) и цветной (Cu, Ni, Co) металлургии.

Литература

- Беляев К.Д., Карпов Р.В.** Геологические предпосылки поисковых работ на Кольском полуострове и новые направления их развития. *Состояние и перспективы расширения минерально-сырьевой базы Северо-Запада РСФСР. Л., Недра, Лен. Отд., с. 15-29, 1973.*
- Борисов А.Е.** Информационный отчет по работе "Проведение поисково-оценочных работ на богатые медно-никелевые руды в пределах Колвицкой и Лебяжинской площадей Мурманской области". *ОАО Кольский геологический информационно-лабораторный центр. Мурманская область, ФГУ МурТФГИ, Апатиты, 225 с., 2008.*
- Докучаева В.С., Ефимов М.М.** Петрологические критерии оценки никеленосности раннепротерозойского (сумийского) гипербазит-базитового магматизма Кольского полуострова. *Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Карело-Кольского региона. Апатиты, КФАН, с. 11-14, 1988.*
- Лимберис Ю.Г., Чемисов Г.К., Смирнов Ю.П. и др.** Сводный отчет о результатах поисковых работ на Ni, выполненных в Терском районе в 1966-1969 гг. *Апатиты, ФГУ МурТФГИ, 165 с., 1970.*
- Митрофанов Ф.П., Балаганский В.В., Балашов Ю.А. и др.** U-Pb возраст габбро-анортозитов Кольского полуострова. *Докл. РАН, т. 331, с. 95-98, 1993.*
- Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В.** Геология рудных районов Мурманской области. *Под ред. Ф.П. Митрофанова, Н.И. Бичука. Апатиты, КНЦ РАН, 359 с., 2002.*
- Тугаринов А.И., Бибикова Е.В.** Геохронология Балтийского щита по данным цирконометрии. *М., Наука, 131 с., 1980.*
- Федосеев В.А., Истомина А.В.** Экономические предпосылки освоения новых месторождений и создания перерабатывающих производств на Кольском полуострове. *Освоение минеральных богатств Кольского полуострова. Мурманск, Мурманское книжное изд-во, с. 224-256, 1974.*
- Чалых Е.Д., Зайцевский А.Б., Данин А.Д. и др.** Отчет Колвицкой партии о результатах геолого-съемочных работ масштаба 1:50000, проведенных в 1962-1965 гг. в районе Колвицких и Кандалакшских тундр (Мурманской области, Кандалакшский, Терский и Кировский районы). *Апатиты, ФГУ МурТФГИ, 599 с., 1967.*
- Юдин Б.А.** Габбро-лабрадоритовая формация Кольского полуострова и ее металлогения. *Л., Наука, 169 с., 1980.*
- Юдин Б.А.** Окисные железо-титановые и железные руды магматических формаций Карелии и Кольского полуострова. *Петрозаводск, Карел. фил. АН СССР, 213 с., 1987.*

References

- Belyaev K.D., Karpov R.V.** Geologicheskie predposylki poiskovyih rabot na Kolskom poluostrove i novyye napravleniya ih razvitiya [Geological background search operations on the Kola Peninsula and new directions of their development]. *Sostoyanie i perspektivy rasshireniya mineralno-syirevoy bazyi Severo-Zapada RSFSR. L., Nedra, Len. Otd., p. 15-29, 1973.*
- Borisov A.E.** Informatsionnyiy otchet po rabote "Provedenie poiskovo-otsenochnyih rabot na bogatyie medno-nikelevyye rudyy v predelakh Kolvitskoy i Lebyazhinskoy ploschadey Murmanskoy oblasti" [Information report on the project "Survey and assessment of rich copper-nickel ores within the Kolvitsa Lebyazhinsky areas in the Murmansk region"]. *OAO Kolskiy geologicheskiy informatsionno-laboratornyiy tsentr. Murmanskaya oblast, FGU MurTFGI, Apatityi, 225 p., 2008.*
- Dokuchaeva V.S., Efimov M.M.** Petrologicheskie kriterii otsenki nikelenosnosti ranneproterozoyskogo (sumiyskogo) giperbazit-bazitovogo magmatizma Kolskogo poluostrova [Petrologic evaluation criteria for Early Proterozoic (sumian) nickeliferous ultramafic – mafic magmatism of the Kola Peninsula]. *Nikelenosnost bazit-giperbazitovyih kompleksov Karelo-Kolskogo regiona. Apatityi, KFAN, p. 11-14, 1988.*

- Limberis Yu.G., Chemisov G.K., Smirnov Yu.P. i dr.** Svodniy otchYot o rezultatah poiskovyih rabot na Ni, vyipolnennyih v Terskom rayone v 1966-1969 gg. [Summary report on Ni prospecting for Ni in the Tersk region in 1966-1969]. Apatityi, FGU MurTFGI, 165 p., 1970.
- Mitrofanov F.P., Balaganskiy V.V., Balashov Yu.A. i dr.** U-Pb vozrast gabbro-anortozitov Kolskogo poluostrova [The U-Pb age of gabbro – anorthosite on the Kola Peninsula]. Dokl. RAN, t. 331, p. 95-98, 1993.
- Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhirov D.V., Zhabin S.V.** Geologiya rudnyih rayonov Murmanskoy oblasti [Geology of ore districts of the Murmansk region]. Pod red. F.P. Mitrofanova, N.I. Bichuka. Apatityi, KNTs RAN, 359 p., 2002.
- Tugarinov A.I., Bibikova E.V.** Geohronologiya Baltiyskogo schita po dannym tsirkonometrii [Geochronology of the Baltic Shield according to zircon measurements]. M., Nauka, 131 p., 1980.
- Fedoseev V.A., Istomin A.V.** Ekonomicheskie predposylki osvoeniya novyih mestorozhdeniy i sozdaniya pererabatyivayuschih proizvodstv na Kolskom poluostrove [Economic preconditions in development of new ore fields and creation processing plants on the Kola Peninsula]. Osvoenie mineralnyih bogatstv Kolskogo poluostrova. Murmansk, Murmanskoe knizhnoe izd-vo, p. 224-256, 1974.
- Chalyih E.D., Zaytsevskiy A.B., Dain A.D. i dr.** Otchet Kolvitskoy partii o rezultatah geologo-s'emochnyih rabot masshtaba 1:50000, provedennyih v 1962-1965 gg. v rayone Kolvitskih i Kandalakshskih tundr (Murmanskoy oblasti, Kandalakshskiy, Terskiy i Kirovskiy rayony) [Report on geological survey (scale 1:50000), performed in 1962-1965 by the Kolvitsa party in Kolvitsa and Kandalaksha tundras (Murmansk region, Kandalaksha, Tersk and Kirov regions)]. Apatityi, FGU MurTFGI, 599 p., 1967.
- Yudin B.A.** Gabbro-labradoritovaya formatsiya Kolskogo poluostrova i ee metallogeniya [Gabbro-labradorite formation of the Kola Peninsula and its metallogeny]. L., Nauka, 169 p., 1980.
- Yudin B.A.** Okisnyie zhelezo-titanovyie i zheleznyie rudy magmaticheskikh formatsiy Karelii i Kolskogo poluostrova [Iron-titanium and iron oxide ore magmatic formations in Karelia and on the Kola Peninsula]. Petrozavodsk, Karel. fil. AN SSSR, 213 p., 1987.

Информация об авторах

Войтеховский Юрий Леонидович – Геологический институт КНЦ РАН, директор, профессор, д-р геол.-мин. наук, e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

Voytekhovsky Yu.L. – Geological Institute KSC RAS, Director, Dr of Geol. & Miner. Sci., e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

Нерадовский Юрий Николаевич – Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотрудник, e-mail: nerad@geoksc.apatity.ru

Neradovsky Yu.N. – Geological Institute KSC RAS, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Leading Researcher, e-mail: nerad@geoksc.apatity.ru

Гришин Николай Никитович – Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН, д-р хим. наук, зав. отделом технологии строительных материалов, e-mail: grishin@chemy.kolasc.net.ru

Grishin N.N. – I.V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Minerals KSC RAS, Dr of Chem. Sci., Head of Department of Technology of Building Materials, e-mail: grishin@chemy.kolasc.net.ru

Ракитина Елена Юрьевна – Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН, мл. науч. сотрудник, e-mail: erakitina@chemy.kolasc.net.ru

Rakitina E.Yu. – I.V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Minerals KSC RAS, Junior Research Scientist, e-mail: erakitina@chemy.kolasc.net.ru

Касиков Александр Георгиевич – Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН, канд. хим. наук, зав. сектором гидрометаллургии кобальта, никеля и благородных металлов, e-mail: kasikov@chemy.kolasc.net.ru

Kasikov A.G. – I.V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Minerals KSC RAS, Cand. of Chem. Sci., Head of Sector of Hydrometallurgy of Cobalt, Nickel and Precious Metals, e-mail: kasikov@chemy.kolasc.net.ru