

УДК 553.016.17 + 553.3/.4

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЮЖНОГО ФЛАНГА ХИЗОВААРСКОЙ СТРУКТУРЫ

А. Г. Никифоров

*Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия*

Для Хизоваарской структуры Северо-Карельского зеленокаменного пояса характерна неметаллическая рудная минерализация. Ряд промышленных минералов ассоциированного со структурой одноименного рудного поля включает кианит, гранат, мусковит, второстепенно ставролит, графит, кварц. На южном фланге структуры расположено месторождение «Высота-181», для которого главным промышленным минералом является гранат с содержанием 10–35 % в продуктивных толщах. Для месторождений всей структуры характерны основные промышленные минералы, представленные кианитом с пиритом и графитом, мусковитом, а гранат и ставролит встречаются в маломощных линзах. В статье приводятся данные о гранатовых рудах месторождения «Высота-181» и дано сопоставление их состава и условий формирования с рудными комплексами другой части Хизоваарской структуры. Результаты исследований показывают, что наиболее продуктивные толщи месторождения «Высота-181» и других месторождений Хизоваарской структуры сформированы по протолиту терригенных, осадочно-вулканогенных и вулканических пород андезитового ряда с проявлением полихронных процессов метаморфизма амфиболитовой фации и метасоматоза, при этом для южного фланга структуры характерно формирование гранатсодержащих пород в результате основного метасоматоза ставролит-гранатовой фации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Хизоваарское рудное поле; кианит; гранат; мусковит; метаморфизм.

A. G. Nikiforov. ORE MINERALIZATION OF THE SOUTHERN FLANK OF THE KHIZOVAARA STRUCTURE

The Khizovara structure of the North Karelian greenstone belt is characterized by non-metallic ore mineralization. Industrial minerals associated with the structure of the homonymous ore field include kyanite, garnet, muscovite, staurolite, graphite, quartz. In the southern flank of the structure there is a deposit "Vysota-181", where the main industrial mineral is garnet with a 10–35 % content in productive ores. The deposits of the structure at large are characterized by the main industrial minerals represented by kyanite with pyrite and graphite, muscovite, while garnet and staurolite are found in thin lenses. The article presents data on garnet ores of the "Vysota-181" deposit and compares their composition and formation conditions with ore complexes of another part of the Khizovara structure. The results of the research show that the most productive ores of the "Vysota-181" deposit and other deposits of the Khizovara structure are formed from the protolith of terrigenous, sedimentary-volcanic and volcanic rocks of the andesite series with the polychronous metamorphism of the amphibolite facies and metasomatism,

while the southern flank of the structure features the formation of garnet-bearing rocks as a result of the basic metasomatism of the staurolite-garnet facies.

Key words: Khizovaara ore field; kyanite; garnet; muscovite; metamorphism.

Введение

Хизоваарское рудное поле представляет собой территориально и генетически близкие месторождения в пределах Хизоваарской структуры. Наиболее подготовленным и изученным является месторождение кианитовых руд «Южная линза». Минерагеническая специализация месторождений и проявлений Хизоваарского рудного поля с севера на юг изменяется от кианитовых руд (месторождение «Южная линза») до гранатовых (месторождение «Высота-181»). Вопросы минерагении южного фланга Хизоваарской структуры, к которому приурочено месторождение комплексных гранатовых руд «Высота-181», представляют научный и практический интерес. Целью работы является анализ условий формирования гранатовых руд на южном фланге Хизоваарской структуры и выявление аналогий между составом и стратиграфическим положением пород месторождения «Высота-181» и других объектов Хизоваарского рудного поля.

Методы

Для анализа метасоматической зональности и ассоциированных с ней руд применялась методика минералогического картирования на основе выделения метаморфических типов протолита и петрографического состава метасоматических зон. Химические и минералогические анализы выполнялись в Аналитическом центре Института геологии КарНЦ РАН.

Геологическое строение

Хизоваарская структура представляет собой сложноскладчатую синформу, сложенную супракрустальными породами, обрамленную гранитоидами Топозерского комплекса. Детальные исследования В. Н. Кожевникова [2000] показали, что Хизоваарская структура представляет собой аккретированный коллаж шести стратотектонических ассоциаций (СТА) и имеет четкую асимметрию в геологическом строении. СТА представлены (снизу вверх) нижними вулканогенными ультраосновными и основными, осадочно-вулканогенными, терригенными и верхними вулканогенными основными породами, метаморфизованными в условиях поли-

хронного регионального метаморфизма. Более значимыми для рудогенеза стали события свекофеннского этапа: метаморфизм амфиболитовой фации и сопутствующий кислотный и основной метасоматоз [Глебовицкий, Бушмин, 1983; Щипцов, 1988]. На южном фланге структуры, вблизи контакта с гранитоидами обрамления, расположено месторождение комплексных гранатовых руд «Высота-181» (рис. 1).

Месторождение представляет собой ярко выраженную в рельефе линзоподобную форму метасоматизированных гнейсов с рудными образованиями промышленных минералов, в обрамлении метаморфических пород. Главная линза шириной 350 м вытянута в субширотном направлении на 1,2 км, общей площадью около 3,5 кв. км и приурочена к рудовмещающим гранат-биотитовым и амфибол-биотитовым гнейсам. В южной части линзы прослежен контакт с гранатовыми амфиболитами, в северной контакт с амфиболитами наблюдается частично. Комплексные руды этого месторождения отличаются высоким содержанием граната практически во всех выявленных метасоматических зонах. Метасоматиты представлены гранат-кианитовыми, гранат-ставролит-полевошпатовыми, гранат-мусковитовыми, гранат-кианит-мусковитовыми вторичными кварцитами с содержанием SiO_2 до 90 %. В таблице 1 отражены результаты минералогического анализа для проб, отобранных в пределах центральной линзы.

Результаты геологических наблюдений и минералогического анализа показывают, что наиболее богатая рудная минерализация связана с метасоматическими зонами. В метаморфических породах содержание граната не превышает 10 % по массе. Попутные промышленные минералы (ставролит, кианит и мусковит) в пределах месторождения сформированы только как продукт кислотного и основного метасоматоза. Для сопоставления особенностей оруденения, состава вмещающих пород были проанализированы хорошо изученные месторождения структуры: «Южная линза», «Северная линза», «Восточная линза» и «Межозерное».

Месторождения «Южная линза», «Восточная линза» и «Северная линза»

«Северная линза» и «Восточная линза» – месторождения кианита, приуроченные к руд-

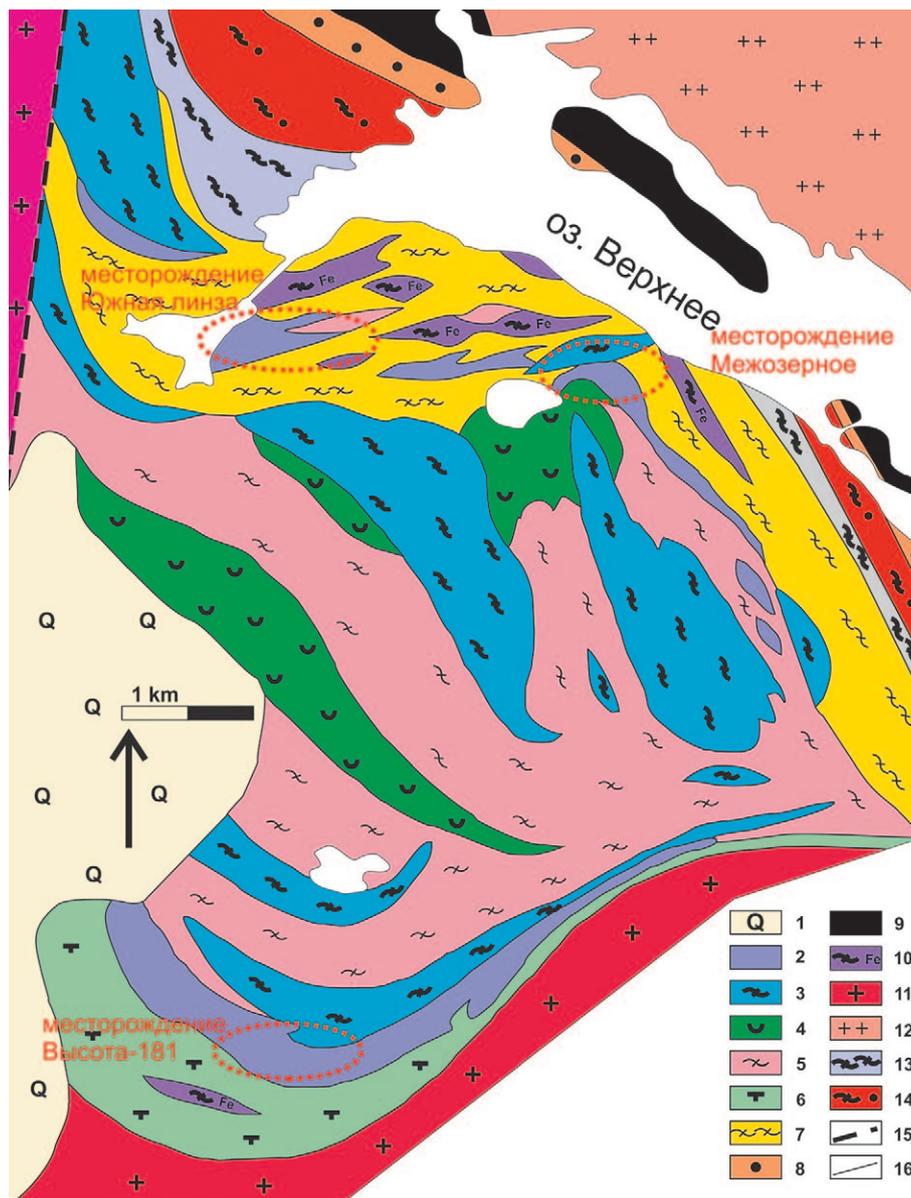


Рис. 1. Схема Хизоваарского рудного поля с главными месторождениями [Щипцов, Иващенко, 2018]:

1 – четвертичные отложения. 2 – кислотные метасоматиты. 3 – метабазалты. 4 – метаморфизованные лавы и туфы. 5 – метадациты и метариолиты. 6 – силлы габбро. 7 – осадочно-вулканогенные и терригенные метаморфиты андезитового ряда. 8 – метавулканисты бонинитовой серии. 9 – метаперидотиты. 10 – Mg-Fe интрузивы. 11 – диориты и гранодиориты. 12 – микроклиновые граниты. 13 – метаандезиты. 14 – железистые метабазалты. 15 – тектонические нарушения. 16 – геологические границы

Fig. 1. The scheme of the Khizovaara ore field with the main deposits [Shchiptsov, Ivashchenko, 2018]:

1 – Quaternary deposits. 2 – acid metasomatites. 3 – metabasalts. 4 – metamorphic lavas and volcanic ashes. 5 – metadacites and metarhyolites. 6 – gabbro sills. 7 – sedimentary-volcanic and terrigenous metamorphic rocks of the andesite series. 8 – metavolcanics of the boninite series. 9 – metaperidotites. 10 – Mg-Fe intrusives. 11 – diorites and granodiorites. 12 – microcline granites. 13 – metaandesites. 14 – iron metabasalts. 15 – tectonic disturbances. 16 – geological boundaries

ным телам неправильной линзовидной формы метаморфогенного генезиса по породам кор выветривания или продуктам эффузивной деятельности, представленным лавами андезитов

с повышенным содержанием глинозема. В статье рассматривается месторождение «Южная линза», представляющее собой мощное оруденелое тело, в пределах которого выделяется

Таблица 1. Результаты минералогического анализа рудовмещающих метаморфических и метасоматизированных пород

Table 1. Results of the mineralogical analysis of ore-hosting metamorphic and metasomatic rocks

Петрографический состав пород Petrographical composition of rocks	Grt %	St %	Qtz %	Pl %	Ms %	Bt %	Ky %
Qtz-Ms-Ky	3,25	0,86	51,48	0	28,8	4,8	10,47
Qtz-Pl-Bt-Grt	7,2	0,6	50,7	27,8	3,1	8,9	1,2
Ms-Qtz-Ky-Grt	7,26	2,4	17,25	0	58,06	0,43	12
Qtz-Pl-Bt-Grt	8,1	0	50,7	23,2	1	13,2	0
Qtz-Ms-Ky-Grt	9,02	0,43	40,27	0	24,83	3,82	20,6
Qtz-Grt-Pl-Ms	9,2	0	55,4	17,7	12	2,4	0
Qtz-Ms-Grt-Pl	9,2	0	65,4	6,9	14,8	2,8	0
Qtz-Ky-Grt-Ms-Pl	11,6	0,8	45,8	9	9,8	4,2	16,5
Qtz-Grt-Pl-Ms-St-Ky	11,8	6,2	56,5	8,2	8,1	1,2	5,3
Qtz-Ky-Pl-Grt-Bt	12,7	1,8	42,4	14,9	2,6	5,8	18,5
Qtz-Grt-Pl-Ms	13,1	0	64,7	9,1	7,7	4,2	0
Qtz-Ky-Ms-Pl	13,1	2,8	50,1	5,1	8,9	2,7	15,1
Qtz-Ky-Grt	13,4	1,2	46,8	4,2	1,9	0,3	30
Qtz-Grt-Ms-Pl	13,8	1,1	65,8	5,2	6,4	1,8	4,2
Qtz-Ky-Grt	15,6	0	47,5	8	2,1	1,5	23
Qtz-Pl-Grt-Bt	20,6	1	50	21,1	0,03	5,53	0
Qtz-Grt-Ky-St	21,94	5,16	51,09	0	3,05	0,1	17,1
Qtz-Grt-Pl-Ky	22,86	1,95	43,84	12,74	3,77	1,82	11,46
Qtz-Grt-Ms-Pl	24,8	0	46,9	9,5	12,7	1,5	3,2
Qtz-Grt-Ky-Bt-Pl	29,7	4,3	37,2	6,1	2,1	6,6	11,8
Grt-Qtz-Ky-St	35,5	13	31,7	0,2	0,5	0,1	14,4
Grt-Qtz	58,53	0,13	26,67	4,96	0,93	0	1,88

шесть залежей кианитовых руд метаморфогенно-метасоматического и метасоматического генезиса по протолиту граувакки андезитового состава [Щипцов и др., 1988]. Кианитовое оруденение представлено тремя типами кианита – метаморфического, метаморфогенно-метасоматического и метасоматического генезиса, различающегося по кристалломорфологии, химическому составу, содержанию в оруденелых породах [Щипцов и др., 1988; Минерально-сырьевая..., 2006].

Месторождение «Межозерное»

Продуктивная толща залегает среди пород хизоваарской свиты неоархея. Пространственное положение толщи структурно связано с контактом амфиболитов (и их метасоматически измененных разновидностей, в частности, гранат-кианитовых амфиболитов) и гнейсов амфибол-биотитового и биотитового состава [Родионов, 2001; Минерально-сырьевая..., 2006]. Полезная толща сложена кварц-мусковитовыми метасоматитами с прослоями и линзами кианитовых вторичных кварцитов с низким содержанием мусковита (1,3–8,5 %) [Родионов, 2001]. Метасоматическое выще-

лачивание мусковит-кварцевой фации приурочено к зонам рассланцевания и часто накладывается на продукты метасоматоза кианит-кварцевой фации. Для данного механизма в пределах Хизоваарской структуры отмечено замещение биотита мусковитом в условиях выноса из системы MgO и FeO [Глебовицкий, Бушмин, 1983]. Таким образом, парагенезисы, включающие мусковит в пределах месторождения (Grt+Bt+Ms+Qtz+Pl, Grt+Ky+Ms+Bt+Qtz, Bt+Ms+Qtz, Pl+Ms+Qtz), принадлежат в том числе к слабоизмененным метасоматозом породам (биотитовым и амфибол-биотитовым гнейсам).

Для сопоставления оруденелых пород и метасоматитов были проанализированы составы проб, отобранных на месторождениях Хизоваарской структуры. Состав пород месторождений по данным источников и авторской работы приведен на диаграмме AFM ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}-\text{MgO}$) (рис. 2).

Результаты исследования показывают, что составы вмещающих оруденение пород месторождения «Высота-181» коррелируют с составами метабазитов и метаандезитов, описанными для Хизоваарской структуры. При этом наблюдаются два тренда метасоматических

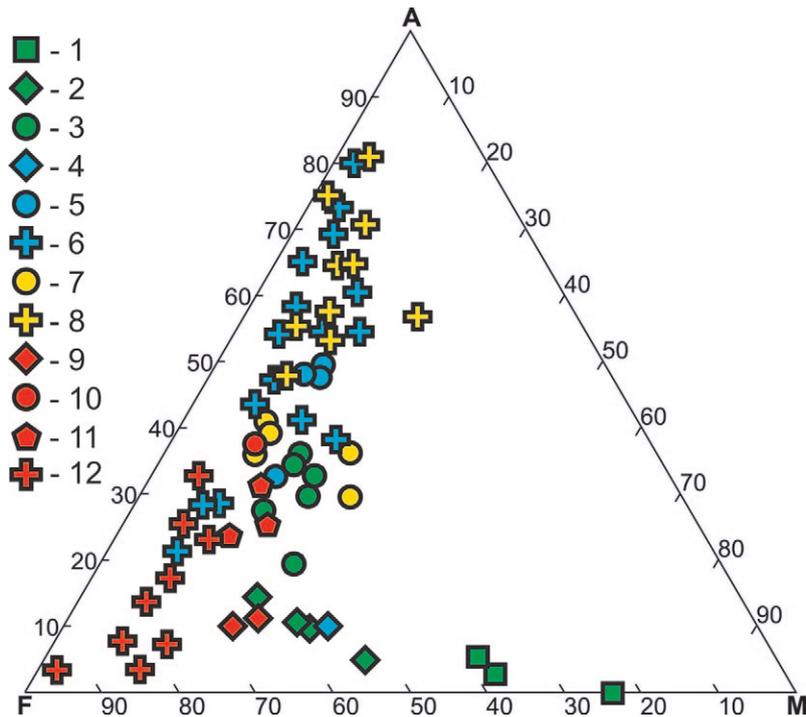


Рис. 2. Состав пород Хизоваарского рудного поля:

1 – коматииты, 2 – базальты, 3 – андезиты [по: Кожевников, 2000]. 4 – амфиболиты месторождения «Южная линза», 5 – амфибол-биотитовые гнейсы месторождения «Южная линза»; 6 – кианитсодержащие метасоматиты месторождения «Южная линза» [Щипцов, 1983]. 7 – амфибол-биотитовые гнейсы месторождения «Межозерное», 8 – мусковитсодержащие метасоматиты месторождения «Межозерное» [Родионов, 2001]. 9 – амфиболиты месторождения «Высота-181», 10 – амфибол-биотитовые гнейсы месторождения «Высота-181», 11 – гранат-биотитовые гнейсы месторождения «Высота-181», 12 – гранатсодержащие метасоматиты месторождения «Высота-181»

Fig. 2. Rocks composition of the Khizovaara ore field:

1 – komatiites, 2 – basalts, 3 – andesites [after: Kozhevnikov, 2000]. 4 – amphibolites of the South Lens deposit, 5 – amphibole-biotite gneiss of the South Lens deposit; 6 – kyanite-bearing metasomatites of the South Lens deposit [Shchiptsov, 1983]. 7 – amphibole-biotite gneiss of the Mezhozernoye deposit, 8 – muscovite-bearing metasomatites of the Mezhozernoye deposit [Rodionov, 2001]; 9 – amphibolites of the "Vysota-181" deposit, 10 – amphibole-biotite gneiss of the "Vysota-181" deposit, 11 – garnet-biotite gneiss of the "Vysota-181" deposit, 12 – garnet-bearing metasomatites of the "Vysota-181" deposit

изменений состава пород: дебазификация пород северного фланга, связанная с выносом Fe_2O_3 , FeO , MgO , и повышение железистости в породах южного фланга. В таблице 2 иллюстрируется ряд сходств и различий в строении и характере оруденения на месторождениях северного и южного флангов. К сходствам относится развитие оруденения по протолисту преимущественно осадочно-вулканогенных пород андезитового состава. Оруденение контролируется литологическими и петрологическими факторами, к которым относится свекофеннский метаморфизм амфиболитовой фации, регрессивный метаморфизм и метасоматоз кислотных и основных фаций [Глебовицкий, Бушмин, 1983; Щипцов и др., 1988]. Ха-

рактер оруденения – линзовидные зональные образования (зональность связана с метасоматической колонкой).

Различия проистекают из особенностей геологического строения. Однородные рудные тела месторождений «Южная линза» и «Межозерное» имеют мощность и протяженность первые сотни метров. Главная рудная залежь месторождения «Высота-181» имеет протяженность более 800 м, но оруденение в ее пределах крайне неоднородно. Это связано с высокой сложностью геологического строения в условиях, когда зоны метасоматических изменений приурочены к контактам между породами [Глебовицкий, Бушмин, 1983].

Таблица 2. Сравнительная характеристика оруденелых пород месторождений Хизоваарской структуры

Table 2. Comparative analysis of mineralized rocks of the Khizovaara structure deposits

Размеры рудных тел Dimensions of the ore bodies	Характер оруденения Type of mineralization
Северный фланг структуры Northern flank of the structure	
Месторождение «Южная Линза» South Lens deposit	
	<p>Оруденение в виде зональных и линзовидных субпараллельных кварц-кианитовых, кианит-кварцевых метасоматизированных пород в пределах мощной толщи с наложенной сульфидной и графитовой минерализацией. Характер оруденения и интенсивность метасоматических процессов может незначительно меняться в разных линзах. Оруденение в линзах и зонах однородное на протяжении 50 и более метров и в большинстве наблюдаемых обнажений контролируется контактами слюдистых гнейсов и метабазитов.</p> <p>The mineralization is in the form of zonal and lens-shaped subparallel quartz-kyanite, kyanite-quartz metasomatic rocks within thick series with overlapping sulphide and graphite mineralization. The type of mineralization and intensity of metasomatic processes may slightly vary in different lenses. The mineralization in the lenses and zones is homogenous for the space of 50 and more meters and in the most exposures under observation it is controlled by the contacts of micaceous gneiss and metabasites.</p>
Месторождение «Межозерное» Mezhozernoje deposit	
	<p>Оруденение однородное на протяжении 100–200 м в линзах и контролируется контактами слюдистых гнейсов и метабазитов. Линзовидные тела представлены мусковитовыми кварцитами, в пределах которых встречаются локальные тела кианитовых метасоматитов. В зоне контакта с базитами развиты гранат-мусковитовые, гранат-кианитовые метасоматиты.</p> <p>The mineralization is homogenous for the space of 100–200 m in lenses and is controlled by the contacts of micaceous gneiss and metabasites. Lens-shaped bodies are represented by muscovite quartz rocks with occurrences of kyanite metasomatites local bodies. Garnet-muscovite, garnet-kyanite metasomatites are developed in the zone of the contact with basites.</p>
Южный фланг структуры Southern flank of the structure	
Месторождение «Высота-181» «Vysota-181» deposit	
	<p>Оруденение однородное (соответствует составу одного из типов руды) на протяжении 10–30 м в метасоматических зонах и контролируется контактами гранат-биотитовых гнейсов, амфибол-биотитовых гнейсов и метабазитов. Минеральный состав зон меняется в широких пределах на малой площади. Описаны три технологических типа руд – гранатовые, гранат-ставролит-кианитовые и гранат-мусковитовые.</p> <p>The mineralization is homogenous (corresponds to the composition of one of the ore types) for the space of 10–30 m in metasomatic zones and is controlled by the contacts of garnet-biotite gneiss, amphibole-biotite gneiss and metabasites. Mineral composition of the zones varies within wide ranges on a small area. Three technological types of ore – garnet, garnet-staurolite-kyanite and garnet-muscovite are described.</p>

Результаты

Установлено, что рудная минерализация южного фланга Хизоваарской структуры представлена комплексным гранатовым оруденением, петрологически связанным с интенсивным метаморфизмом свекофеннского периода в сочетании с метасоматическими процессами и пространственно приуроченным к породам осадочно-вулканогенной стратотектонической ассоциации. Для месторождения характерна рудная минерализация, свойственная объектам северного фланга Хизоваарской структуры (кианитовые и мусковитовые вторичные кварциты, появление декоративных пород гранат-мусковит-кианит-кварцевого состава).

Уникальной является гранатовая минерализация, характерная как для метаморфических, так и для метасоматических пород. Причиной является базификация пород, происходящая в результате полихронных синметаморфических метасоматических процессов. В пределах всего Хизоваарского рудного поля оруденение приурочено к осадочно-вулканогенным и терригенным глубоко метаморфизованным породам, с гнейсовидной или сланцеватой текстурой. Формирование руд происходит в результате регионального метаморфизма амфиболитовой фации и синхронного метасоматоза, наиболее ярко проявленного в зонах интенсивного рассланцевания на контактах гнейсов с метабазитами.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (тема НИР «Минерагения, технологическая и эколого-экономическая оценка потенциальных минерально-сырьевых ресурсов территории Республики Карелия»).

Литература

Глебовицкий В. А., Бушмин С. А. Послемигматитовый метасоматоз. Л.: Наука, 1983. 2016 с.

Кожевников В. Н. Архейские зеленокаменные пояса карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 222 с.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи / Отв. ред.

В. П. Михайлов, В. Н. Аминов. Петрозаводск: Респ. тип. им. Анохина, 2006. 356 с.

Родионов В. С. Отчет по теме «Результаты поисковых и разведочных работ по выявлению в районе Чупинской ПОФ маложелезистого чешуйчатого мусковита и чистого кварца для производства высокотехнологичных изделий и помола за 2000–2001 гг.». 2001.

Щипцов В. В., Иващенко В. И. Минерально-сырьевой потенциал арктических районов Республики Карелия // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 2. С. 3–33. doi: 10.17076/geo775

Щипцов В. В., Сыстра Ю. Й., Щипцова Н. И., Кулмала Т. К., Бородулин Ю. Д., Скамницкая Л. С., Захарова И. Б., Морозов Г. Г., Каненкова Е. А., Байбусинов Ш. Ш. Хизоваарское кианитовое поле (Северная Карелия) / Отв. ред. Л. Л. Гродницкий. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1988. 105 с.

Поступила в редакцию 27.06.2018

References

Glebovitskii V. A., Bushmin S. A. Poslemigmatitovyi metasomatоз [The postmigmatitic metasomatism]. Leningrad: Nauka, 1983. 2016 p.

Kozhevnikov V. N. Arkheiskie zelenokamennye poyasa karel'skogo kratona kak akkretsiionnye orogeny [Archean greenstone belts of the Karelian craton as accretionary orogens]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000. 222 p.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya. Kn. 2. Nemetallicheskie poleznye iskopaemye. Podzemnye vody i lechebnye gryazi [Mineral resources of the Republic of Karelia. Book II. Nonmetallic minerals. Underground waters and therapeutic muds]. Petrozavodsk: Resp. tip. im. Anokhina, 2006. 356 p.

Rodionov V. S. Otchet po teme "Rezul'taty poiskovykh i razvedochnykh rabot po vyavleniyu v raione Chupinskoi POF malozhelezistogo cheshuichatogo muskovita i chistogo kvartsa dlya proizvodstva vyso-

kotekhnologichnykh izdelii i pomola za 2000–2001 gg." [Results of prospecting and exploration of low-iron scaly muscovite and pure quartz in the Chupa GPP area for making high-technology products and grind in 2000–2001: a report]. 2001.

Shchiptsov V. V., Ivashchenko V. I. Mineral'no-syr'evoi potentsial arkticheskikh raionov Respubliki Kareliya [Mineral potential of Arctic Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 2. P. 3–33. doi: 10.17076/geo775

Shchiptsov V. V., Systra Yu. I., Shchiptsova N. I., Kulmala T. K., Borodulin Yu. D., Skamnitskaya L. S., Zakharova I. B., Morozov G. G., Kanenkova E. A., Baibusinov Sh. Sh. Khizovaarskoe kyanitovoe pole (Severnaya Kareliya) [The Hisovaara kyanite field (North Karelia)]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1988. 105 p.

Received June 27, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Никифоров Александр Геннадьевич

младший научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: eoaster@yandex.ru

CONTRIBUTOR:

Nikiforov, Alexander

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: eoaster@yandex.ru