

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДНЫХ ТЕЛАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПОЛЯРНОЕ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Д. В. Таймасов

Distribution of the ore elements in ore bodies of the Zapolyarnoe field (Kola Peninsula)

D. V. Taymasov

The author conducted studies of the chemical zonality of ore deposits of all types for the sulfide-copper-nickel deposit Zapolyarnoe. Within the deposit of sulfide-copper-nickel ores Zapolyarnoe are the following industrial types of ores: rich interspersed ores, which are interspersed mineralization in peridotites; brecciated ores formed by detrital material; poor interspersed ores characterized by vein-interspersed mineralization; solid ores in a form of massive sulphide emissions. This work is based on operational and detailed exploration data. The author sorted samples according to the types of ores. Using the results, the author derived regression lines and their formulas to rectilinear dependencies. Analysis of the graphs showed that for all types of ores the dependences of copper and cobalt content on nickel content are direct, but at that, in thick-interspersed and brecciated types they are similar, and in scattered-interspersed they differ significantly. It becomes clear that correlation of copper and nickel in ore body depends on the scattered-interspersed ores, whereas the correlation of cobalt and nickel is determined mainly by thick-interspersed and brecciated ores. Dependencies between nickel, copper and cobalt in ores change when concentration of nickel in the ore changes. The graphs also show that the ratio of Ni/Cu in breccias and scattered-interspersed ores, as well as in near-ore metaperidotites, is almost constant at different nickel concentrations, on average 2:1.5 and 1, respectively. Thick-interspersed ores show the tendency towards an increase in the ratio with an increase in nickel content. The Ni/Co ratio increases with an increase of Ni concentration in all types of ores. In rich ores, growth occurs along a stepped curve, and in breccias – rectilinearly. Thus, the analysis of distribution of ore elements in ore bodies indicates a complex heterogeneous composition of sulphide mineralizations in different types of ores and their similarity in zones differing in the content of metals from the sampling data. It is obvious that the chemical zonality in brecciated and thick-interspersed ores is mainly due to a different concentration of sulphides with constant qualitative composition. The main types of zonality in the deposit are asymmetric zoning (columnar) in brecciated deposits and symmetric (concentric) in deposits of thick-interspersed ores. One can determine these types of zonality using the distribution of useful components of ores and mineralogical data confirms it. Based on this author concludes that the eastern branch, in which the thick-interspersed deposits lie, is the so-called supply canal (conductor) to the upper part of the deposit and to the western branch, which is similar in its morphological parameters with the central part.

Keywords: Zapolyarnoe deposit; supply channel; ore types; asymmetric zoning; symmetrical zoning; chemical zoning.

Проведены исследования химической зональности залежей руд по всем типам руд сульфидно-медно-никелевого месторождения Заполярное. В пределах месторождения сульфидных медно-никелевых руд Заполярное выделяются следующие промышленные типы руд: богатые вкрапленные руды, представляющие вкрапленное оруденение в перидотитах; брекчиевидные руды, образованные обломочным материалом; бедные вкрапленные руды характеризуются прожилково-вкрапленной минерализацией; сплошные руды представляют собой массивные выделения сульфидов. Работа основана на данных эксплуатационной и детальной разведки. Была осуществлена разбраковка проб по типам руд. Результаты позволили вывести линии регрессии и их формулы для прямолинейных зависимостей. Анализ графиков показал, что для всех типов руд зависимости содержания меди и кобальта от содержания никеля прямые, причем в густовкрапленных и брекчиевидных типах они близки, а в рассеяновкрапленных существенно отличаются. Хорошо видно, что на соотношение меди и никеля в рудном теле заметно влияют рассеяновкрапленные руды, тогда как соотношение кобальта и никеля определяется главным образом таким в густовкрапленных и брекчиевидных рудах. Зависимости между никелем, медью и кобальтом в рудах не остаются постоянными при изменении концентрации никеля в руде. Также графики показали, что отношение Ni/Cu в брекчиях и рассеяновкрапленных рудах, а также в околорудных метаперидотитах практически постоянно при разных содержаниях никеля, в среднем 2 : 1,5 и 1 соответственно, а в густовкрапленных рудах отмечена тенденция к возрастанию отношения с увеличением содержания никеля. Отношение Ni/Co возрастает с увеличением концентрации Ni во всех типах руд. В богатых рудах рост происходит по ступенчатой кривой, а в брекчиях – прямолинейно.

Ключевые слова: месторождение Заполярное; подводящий канал; типы руд; асимметричная зональность; симметричная зональность; химическая зональность.

Месторождение Заполярное расположено на северо-западе Кольского полуострова в Печенгском районе Мурманской области Российской Федерации.

В геологическом строении месторождения участвуют три крупных разновозрастных структурно-стратиграфических комплекса докембрийских образований: раннеархейский, позднеархейский и раннепротерозойский [1, 2].

Печенгский структурный блок является частью Полмак-Павик-Печенгско-Варзугского пояса карелид Балтийского щита и протягивается с северо-запада на юго-восток через всю Кольскую субпровинцию Лапландско-Кольско-Карельской провинции (восточная часть Балтийского щита) [3–5].

Промышленные месторождения [6, 7] группируются в ждановской свите в пределах Печенгского рудного поля, образуя два рудных узла – Западный и Восточный. Западный рудный узел

включает месторождения Каула, Промежуточное, Котсельваара-Каммикиви, Семилетка. Восточный рудный узел включает месторождения Ждановское, Заполярное, Спутник, Тундровое, Быстринское и Верхнее.

Месторождение Заполярное расположено в центральной части Восточного рудного узла, в низах «продуктивной» ждановской свиты, на контакте туфогенно-осадочных пород с долеритами третьего эффузивного покрова [8, 9]. Оно приурочено к протяженной межпластовой тектонической зоне. В состав месторождения входит одно крупное Северное рудное тело (95 % запасов) и серия мелких линз-сателлитов [10].

Северное рудное тело (СРТ) прослежено по простиранию на расстоянии 1000–1500 м, по падению – на 1000 м. Элементы залегания рудного тела: азимут простирания 130–150° на юго-восток, падение – на юго-запад под углами 40–65°. Склонение на юго-восток под углом около 20° к линии падения. Общая пластовая форма залежи СРТ осложнена чередованием раздувов и пережимов мощности и разделяется по простиранию безрудным пережимом («окном») шириной до 200 м на две части: западную (западный фланг) и восточную (восточный фланг), различающиеся по своим морфологическим параметрам.

В пределах месторождения сульфидных медно-никелевых руд Заполярное выделяются следующие промышленные типы руд:

- богатые вкрапленные руды, представляющие вкрапленное оруденение в перидотитах, содержащих также сульфидные прожилки различной протяженности и мощностью от нескольких миллиметров до первых сантиметров;
- брекчиевидные руды, образованные обломочным материалом с высокой степенью измененных осадочно-метаморфических и магматических пород, сцементированных сульфидным и сульфидно-карбонатно-силикатным материалом;
- бедные вкрапленные руды, характеризуются прожилково-вкрапленной минерализацией;
- сплошные руды, представляют собой массивные выделения сульфидов, содержащие весьма незначительные по количеству вкрапленники нерудных минералов.

Рудные минералы по их количественному содержанию в рудах могут быть разделены на главные и второстепенные. К числу

главных минералов во всех типах относятся пирротин, пентландит и халькопирит, в отдельных участках брекчиевидных руд в эту группу входит также пирит. Второстепенные минералы представлены сульфоарсенидами ряда герсдорфит–кобальтин, сфалеритом, галенитом, макинавитом, виоларитом и минералами благородных металлов (серебросодержащий пентландит и самородное золото, сперрилит), платиноносными сульфоарсенидами и теллуридами (алтаит).

Исследование химической зональности руд проведено на основании данных эксплуатационной и детальной разведки. Было осуществлено разделение проб по типам руд, при этом использованы полные горизонтальные пересечения, по которым выполнен химический анализ.

В брекчиевидных рудах подтверждено наличие хорошо выраженной химической зональности по распределению трех основных компонентов – никеля, меди и кобальта. Ранее этот тип зональности установлен С. М. Баржицкой и С. В. Соколовым [11].

Полученные данные свидетельствуют о развитии в брекчиях зоны бедных руд ($Ni < 2\%$, $Cu < 1,0\%$ и $Co < 0,04\%$) – западный фланг и зоны богатых руд ($Ni > 3,5\%$, $Cu > 1,5\%$ и $Co > 0,04\%$) – восточный фланг. Граница между бедными рудами

западного рудного столба и богатого рудами восточного рудного столба, сложенного изменчивыми по концентрации, но преимущественно 2–3,5 %-ными по Ni рудами, согласна с восточным («висячим») боком массива габбро, совпадает по склонению с направлением серии «борозд» в подошве рудного тела в долеритах.

В целом распределение рудных столбов по всем элементам подчинено основному структурному элементу месторождения – ориентировке таких элементов, как контакты массива габбро, флексурный перегиб рудного тела, «борозды» в подошве рудного тела, фиксируемые по структуре кровли долеритов, т. е. крупные и мелкие столбы согласны со склонением рудного тела, конкретно – его восточной части.

Вместе с тем в распределении концентраций каждого элемента прослеживаются свои особенности. В частности, для меди более четко выражен линейно-струйчатый характер рудных столбов крупного плана с содержаниями 1–1,5 %, а также с 3 % и более подчинен основному элементу структуры. Для кобальта характерно формирование наиболее высококонцентрированных столбов ($Co > 0,10$) в наиболее сложной по структуре зоне месторождения на востоке. Этот участок отмечен также отщеплением крупных апофиз, имеющих значение самостоятельных

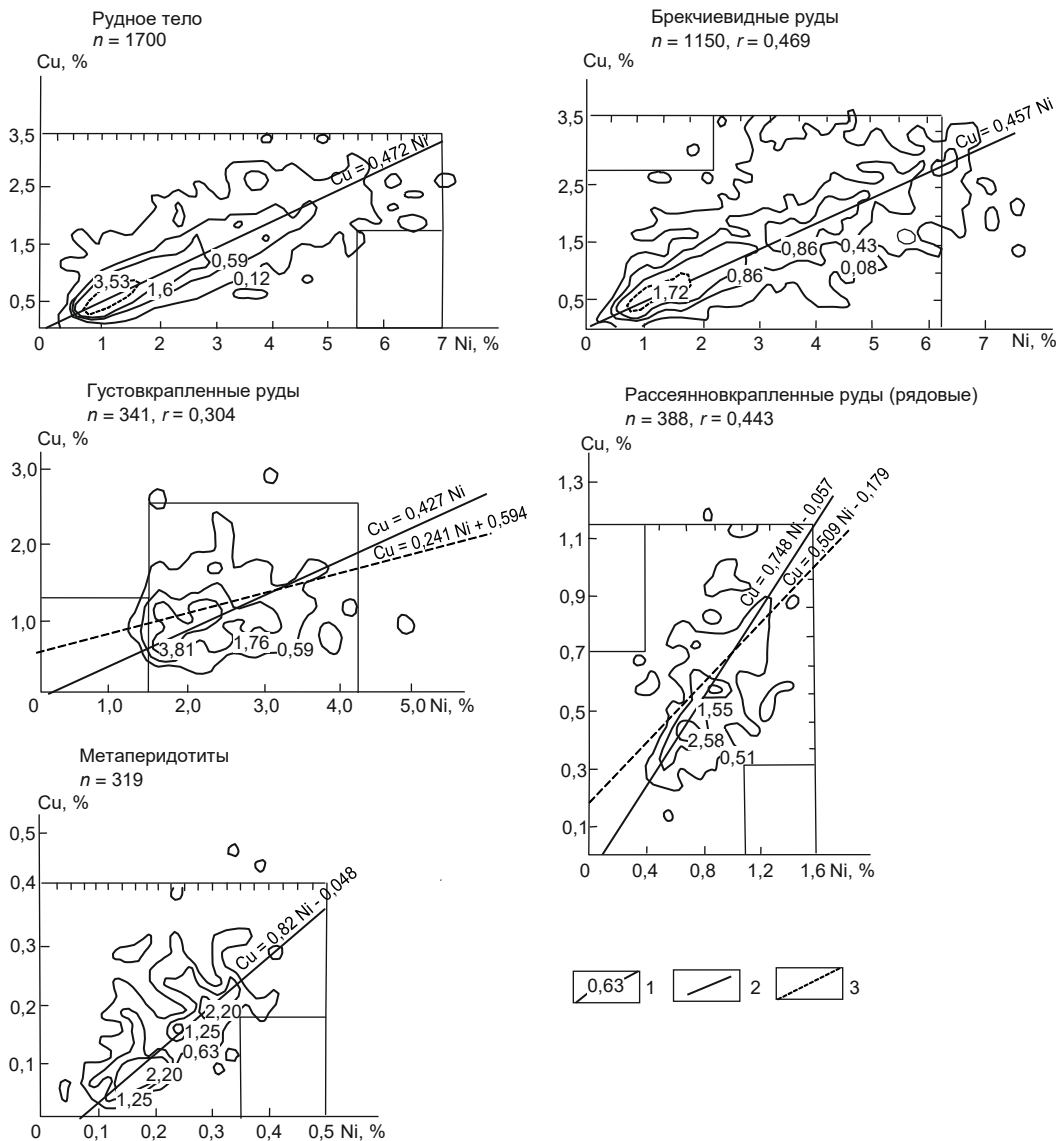


Рисунок 1. Диаграмма зависимости содержаний меди от содержания никеля: n – количество проб; r – коэффициент корреляции. 1 – изолинии плотности точек на единицу площади в процентах от общего числа проб; 2 – линия регрессии и ее формульное выражение (по графическому построению); 3 – то же по математическим расчетам.

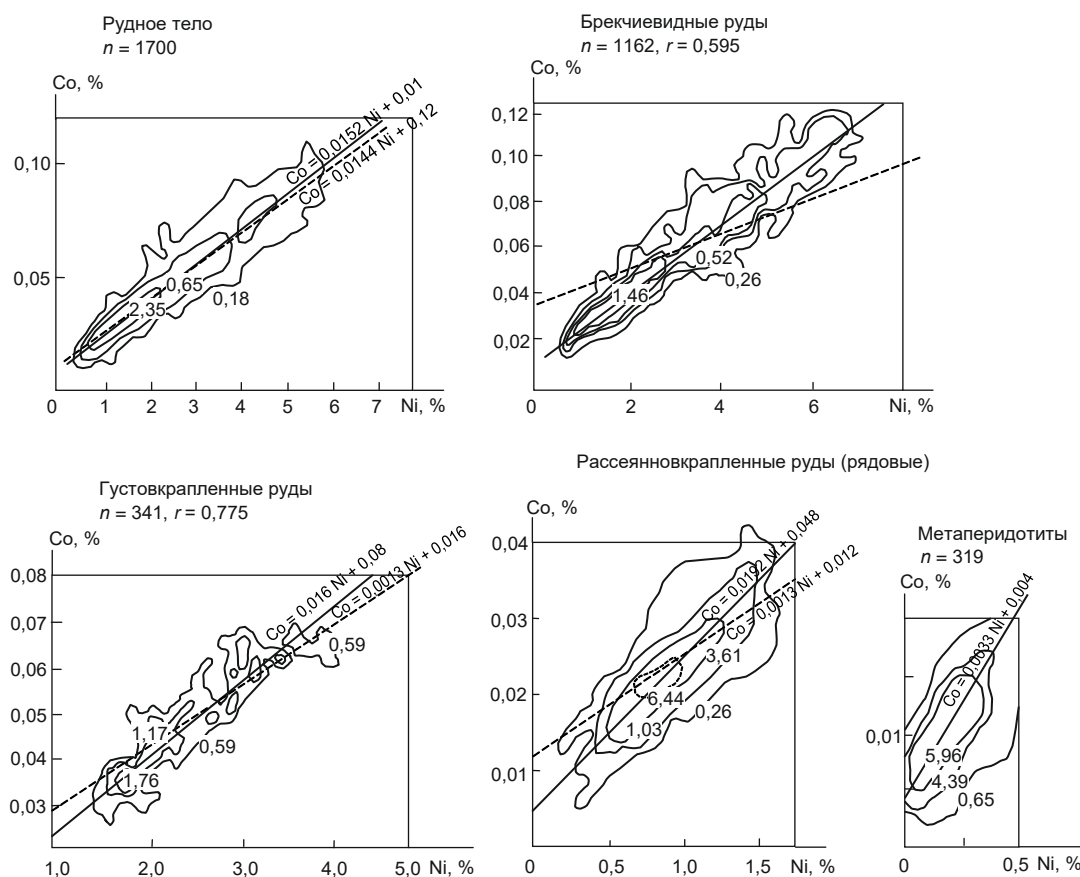


Рисунок 2. Диаграмма зависимости содержания кобальта от содержания никеля.

рудных тел. В целом это свидетельствует о развитии мощных зон трещиноватости, что, возможно, благоприятно сказалось на перераспределении Co, ассоциирующего с такими «поздними» минералами, как пирит и кобальтин.

Внутри основных рудных столбов наблюдается развитие более мелких, не подчиненных каким-либо известным структурным элементам. Характерно, что области концентрации никеля более широкие, а меди – более узкие, линейные. Слабо выражена тенденция концентрации более медистых брекчий в восточной части месторождения, но более вероятно, что изменение состава происходит параллельно.

Интересно, что крупный рудный столб в восточной части месторождения сложен рудами, в которых содержание никеля варьирует в очень узких пределах – 3,5–4 %, а меди – в широких – 1,5–3 %. Следовало бы ожидать в связи с этим изменения отношения Cu : Ni в сторону увеличения, чего не наблюдается.

Отношение Cu : Ni в целом по брекчиям не обнаруживает заметной закономерной тенденции изменения. Можно отметить развитие более обширных участков с устойчивым отношением больше модалного (0,5) или меньше, западнее габбрового массива и развитие руд с отношением Cu : Ni > 1 на восточном выклинивании рудного тела. Основная же часть месторождения характеризуется равномерной «крупностолбчатой» структурой распределения брекчиевидных руд с отношением Cu : Ni, близким к 0,5. Отношение Co : Ni меняется в брекчиях весьма слабо (80 % проб от 0,01 до 0,025), причем для «богатых» брекчий характерны более низкие отношения, т. е. менее 0,02, а для «бедных» – более высокие, что связано с непропорциональным возрастанием концентрации Ni в «богатых» брекчиях относительно Co.

На основании полученных данных при разработке месторождения сделаны выводы о том, что на глубоких горизонтах месторождений структура зональности брекчий меняется. Основ-

ное направление склонения рудных столбов ориентируется почти вертикально. По данным опробования эксплуатационной разведки, граница между бедными и богатыми частями брекчиевидных руд прослеживается на всю глубину месторождения.

Главный рудный столб богатых брекчиевидных руд смещается от восточного фланга рудного тела к его центру и «сечет» контуры «окон» (маломощных участков) в теле брекчий, т. е. не согласуется с его морфологией. Эти тенденции указывают на изменение взаимосвязи брекчий со структурными элементами на глубину.

Отношения между никелем, медью и кобальтом в рудах различны, а в пределах одного типа руд устойчивы в соответствующих диапазонах содержаний.

Была проведена подборка проб по типам руд и рудному телу в целом с учетом данных детальной и эксплуатационной разведки. Результаты позволили вывести линии регрессии и их формулы для прямолинейных зависимостей (рис. 1). Эти данные позволяют предполагать, что поведение главных элементов – меди и кобальта – на глубине аналогичны поведению никеля.

Анализ графиков, представленных на рис. 2, показывает, что для всех типов руд зависимости содержания меди и кобальта от содержания никеля прямые, причем в густовкрапленных и брекчиевидных типах они близки, а в рассеяновкрапленных существенно отличаются. Хорошо видно, что на соотношение меди и никеля в рудном теле заметно влияют рассеяновкрапленные руды, тогда как соотношение кобальта и никеля определяется главным образом таковым в густовкрапленных и брекчиевидных рудах.

Зависимости между никелем, медью и кобальтом в рудах не остаются постоянными при изменении концентрации никеля в руде.

Как показывают графики (рис. 3, 4), отношение Ni/Cu в брекчиях и рассеяновкрапленных рудах, а также в околорудных

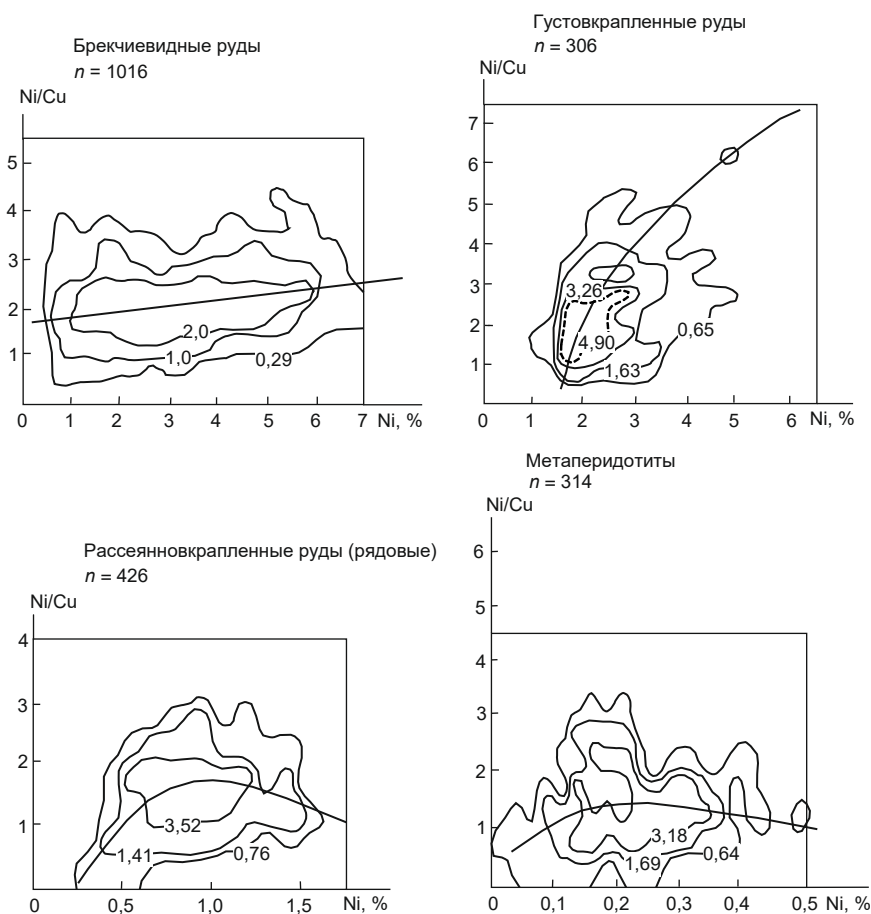


Рисунок 3. Диаграммы зависимости величины отношения Ni/Cu от содержания никеля.

метаперидотитах практически постоянно при разных содержаниях никеля, в среднем 2 : 1,5 и 1 соответственно, а в густовкрапленных рудах отмечена тенденция к возрастанию отношения с увеличением содержания никеля.

Отношение Ni/Co возрастает с увеличением концентрации Ni во всех типах руд. В богатых рудах рост происходит по ступенчатой кривой, а в брекчиях – прямолинейно.

Таким образом, в брекчиевидных рудах установлено прямолинейное соотношение меди и никеля: $Cu = 0,455 Ni$; кобальта и никеля: $Co = 0,015 Ni + 0,01$; слабое возрастание отношения Ni / Cu от 1,8 до 2,5 при изменении содержания никеля от 1,0 до 7,0 % в брекчиевидных рудах и ступенчатое возрастание отношения Ni/Co от 30 до 50 в диапазоне содержаний никеля 0,5–2,5 % и от 50 до 65 в диапазоне 2,5–7 % Ni. Характерно, что резкое увеличение отношения Ni/Co в бедных брекчиевидных рудах аналогично изменению данного отношения в рядовых вкрапленных рудах.

Распределение концентраций элементов в густовкрапленных рудах подчинено структуре и форме залежей. Во всех залежах установлена тенденция обогащения элементами ядерных частей, как правило, наиболее мощных. Вместе с тем установлено отсутствие взаимосвязи состава и мощности в восточной залежи, где известно «гнездо» густовкрапленных руд линейной формы. Области высоких концентраций элементов в пределах центрального и восточного столбов залежей густовкрапленных руд имеют более сложную форму, нередко распадаются на ряд мелких полей. При этом максимумы концентраций располагаются не только в пределах основного столба, но и в сателлитах. В западном столбе наиболее отчетливо выражена концентрическая зональность.

Здесь, как и в брекчиевидных рудах, отмечаются общая тенденция распределения низких и средних концентраций элементов и пространственное разделение максимальных концентраций.

Таким образом распределение Ni, Cu и Co в рудных телах согласуется с формой залежей, а эпицентры концентрации, как правило, приурочены к осям синклиналиных «борозд» в долеритах, кроме того, аномальные точки по концентрации Co (> 0,070) сосредоточены в узлах изгибов «борозд» и флексурных волн во вмещающих породах. Также наблюдается пространственная взаимосвязь концентрационных столбов по Ni и Cu в густовкрапленных и брекчиевидных рудах. Рудные столбы никеля в брекчиевидных рудах западной части месторождения (северное ответвление) смещены к западу относительно густовкрапленных руд, а в центральной и особенно в восточной частях месторождения эпицентры концентрации Ni в брекчиях смещены относительно эпицентров концентрации Ni в густовкрапленных рудах к востоку, т. е. во всех случаях концентрационные столбы не совпадают пространственно. Рудные столбы никеля брекчиевидных и густовкрапленных руд в западной и центральной частях месторождения совпадают по уровням концентраций, а в восточной части наблюдается отчетливое смещение повышенных концентраций Cu в брекчиях восточнее густовкрапленных руд.

На глубоких горизонтах месторождения, где густовкрапленные руды слагают большую часть рудного тела, распределение никеля также имеет концентрический характер. Концентрический тип зональности в залежах густовкрапленных руд аналогичен ранее изученному на примере залежей месторождения Котсельваара [12], но проявлен значительно менее контрастно, а также осложнен вследствие разрыва залежей. Распределение меди и кобальта на глубоких горизонтах взаимосвязано с никелем соответствующими отношениями $Cu = 0,427 Ni$; $Co = 0,016 Ni + 0,008$ (рис. 1, 4). С увеличением концентрации никеля, т. е. с переходом в блоки богатых густовкрапленных руд, отношение

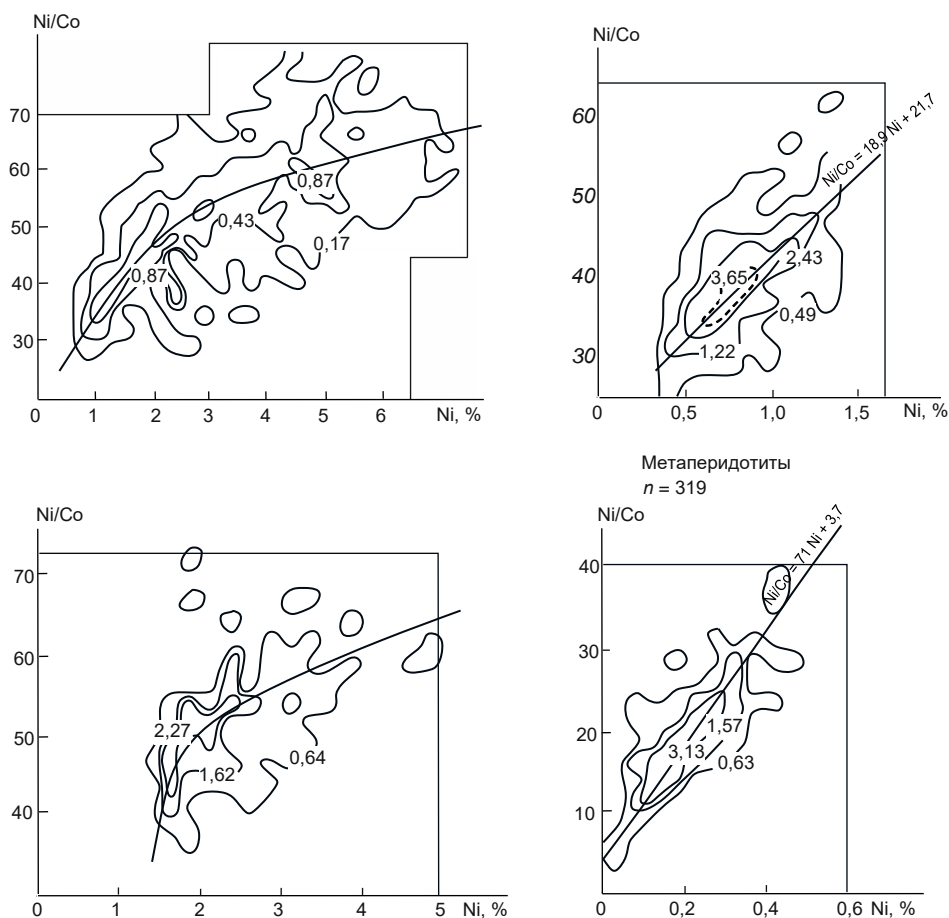


Рисунок 4. Диаграммы зависимости величины отношения Ni/Co от содержания никеля.

Ni/Cu возрастает от 0,5 до 4 (рис. 3), а Ni/Co – от 40 до 55 и более в зависимости от содержания никеля (рис. 4).

В рядовых вкрапленных рудах содержание элементов варьирует слабо. Тем не менее наблюдается некоторое обогащение полезными компонентами руд в средней части месторождения, а фланговые части залежи, в том числе и наиболее мощные на западе, сложены более бедными рудами. Повышение концентрации химических элементов не коррелируется с какими-либо хорошо выраженными элементами структуры и строением самой залежи, но столб обогащенных руд прослеживается на всю глубину отработанной части.

В целом по месторождению рассеяновкрапленные руды характеризуются одинаковым уровнем содержания полезных элементов, хотя отдельные залежи глубокозалегающих руд заметно обеднены никелем.

Соотношения между элементами рассеяновкрапленных руд существенно отличаются от брекчиевидных и густовкрапленных. Во-первых, для них характерно наиболее контрастное увеличение содержания меди с увеличением никеля (рис. 1); $Cu = 0,748 Ni - 0,057$, во-вторых, аналогично ведет себя кобальт, $Co = 0,0192 Ni + 0,048$ (рис. 2). Это приводит к тому, что на каждый 1 % никеля в рассеяновкрапленной руде содержание меди составляет 0,691 %, а кобальта – 0,0672 %, что является высоким показателем для рудного тела в целом и значительно превышает данные по брекчиевидным и густовкрапленным рудам. Своеобразно меняются в рассеяновкрапленных рудах и отношения Ni/Cu и Ni/Co (рис. 3, 4). Вариационная линия отношения Ni/Cu поднимается от 1,0 до 1,7 с ростом никеля от 0,5 до 1,0 % и в дальнейшем понижается до 1,0. Вариационная линия отношения

Ni/Co от содержания Ni проходит от 30 до 50 при изменении содержания никеля от 0,5 до 1,5 % и имеет форму прямой с уравнением $Ni/Co = 18,9 Ni + 21,7$. Как уже отмечено ранее, такую же закономерность изменения отношения имеют и бедные брекчии. Это, по мнению автора, связано с тем, что обломочный материал в этих брекчиях в основном представлен блоками деформированных рассеяновкрапленных руд.

Детальный анализ влияния химических особенностей бедных вкрапленных руд на геохимию рудного тела в целом показал, что присутствие их в разрезе рудного тела значительно меняет среднее отношение Cu/Ni.

Подводя итог на основании выполненных исследований, можно сказать о сложном и неоднородном составе сульфидных минерализаций в разных типах руд, которые, в свою очередь, подобны в зонах, отличающихся содержанием металлов. Также выделены главные типы зональности – это в брекчиевидных рудах асимметричная и в залежах густовкрапленных руд симметричная зональность. Согласно полученным результатам, механизм формирования минерало-геохимических различий руд и зон определен распределением магматического вещества как вследствие дифференциации на глубине до внедрения в рудолокализирующую зону, так и в результате динамической дифференциации под влиянием тектонических факторов на месте локализации руд и, наконец, кристаллизационной дифференциацией сульфидного расплава. Все это не исключает, а отчасти подтверждает теорию о том, что восточная ветвь, в которой залегают густовкрапленные руды, является так называемым подводящим каналом (проводником) к верхней части месторождения и к западной ветви, которая схожа по своим морфологическим параметрам с центральной частью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Begg G. C., Hronsky J. A. M., Arndt N. T. et al. Lithospheric, cratonic and geodynamic setting of Ni–Cu–PGE sulphide deposits // *Economic geology*. 2010. Vol. 105, № 6. P. 1057–1070.
2. Song X.-Y., Danyushevsky L.V., Keays R. R., Chen L.-M. et al. Structural, lithological and geochemical constraints on the dynamic magma plumbing system of the Yinchuan Ni–Cu sulphide deposits. NW China // *Mineralium Deposita*. 2012. Vol. 47, № 3. P. 277–298.
3. Горбунов Г. И., Астафьев Ю. А., Бартевев И. С. и др. Структуры медно-никелевых рудных полей и месторождений Кольского полуострова. Л.: Наука, 1978. 160 с.
4. Горбунов Г. И., Астафьев Ю. А., Гончаров Ю. В. и др. Медно-никелевые месторождения Печенги. М.: ГЕОС, 1999. 236 с.
5. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia / P. Eilu (ed.). Geological Survey of Finland, Special Paper 53. 2012. 401 p.
6. Бежанова М. П., Стругова Л. И. Ресурсы, запасы и добыча важнейших видов полезных ископаемых. М.: ОАО «ВНИИЗарубежгеология», 2011. 145 с.
7. Беневольский Б. И. Состояние и пути развития минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов России // *Разведка и охрана недр*. 2011. № 5. С. 28–36.
8. Maier W. D., Groves D. I. Temporal and spatial controls on the formation of magmatic PGE and Cu–Ni deposits // *Mineralium Deposita*. 2011. Vol. 46, № 8. P. 841–857.
9. Mudd G. M. Global trends and environmental issues in nickel mining: sulphides versus laterites. Australia, Clayton: Monash Univ., 2011. 35 p.
10. Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В. и др. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты. Изд-во КНЦ РАН, 2002. 359 с.
11. Баржицкая С. М., Соколов С. В. О зональности и скрытых вариациях состава богатых руд одного из месторождений Печенги // *Минералы и парагенезисы минералов медно-никелевых и колчеданных руд Кольского полуострова*. Апатиты: Изд-во Кол. фил. АН СССР, 1982. С. 102–109.
12. Нерадовский Ю. Н., Грибушин Г. М. Минеральная и химическая зональность залежей густовкрапленных руд одного медно-никелевого месторождения Печенги // *Петрология, минералогия и геохимия*. Сер. «Вопросы геологии и металлогении Кольского полуострова». Апатиты, 1974. Вып. 5. Ч. 2. С. 221–226.

REFERENCES

1. Begg G. C., Hronsky J. A. M., Arndt N. T. et al. 2010, Lithospheric, cratonic and geodynamic setting of Ni–Cu–PGE sulphide deposits. *Economic geology*, vol. 105, no. 6, pp. 1057–1070.

2. Song X.-Y., Danyushevsky L.V., Keays R. R., Chen L.-M. et al. 2012, Structural, lithological and geochemical constraints on the dynamic magma plumbing system of the Yinchuan Ni–Cu sulphide deposits. NW China. *Mineralium Deposita* vol. 47, no. 3, pp. 277–298.
3. Gorbunov G. I., Astaf'ev Yu. A., Bartenev I. S. et al. 1978, *Struktury medno-nikelevykh rudnykh poley i mestorozhdeniy Kol'skogo poluoostrova* [Structures of copper-nickel ore fields and deposits of the Kola Peninsula], Leningrad, 160 p.
4. Gorbunov G. I., Astaf'ev Yu. A., Goncharov Yu. V. et al. 1999, *Medno-nikelevye mestorozhdeniya Pechengi* [Copper-nickel deposits of Pechenga], Moscow, 236 p.
5. Eilu P. 2102, Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Special Paper 53, 401 p.
6. Bezhanova M. P., Strugova L. I. 2011, *Resursy, zapasy i dobycha vazhneyshikh vidov poleznykh iskopaemykh* [Resources, reserves and extraction of the most important types of minerals], Moscow, 145 p.
7. Benevol'skiy B. I. 2011, *Sostoyaniye i puti razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy blagorodnykh i tsvetnykh metallov Rossii* [State and ways of development of mineral and raw materials base of noble and non-ferrous metals in Russia]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources], no. 5, pp. 28–36.
8. Maier W. D., Groves D. I. 2011, Temporal and spatial controls on the formation of magmatic PGE and Cu–Ni deposits. *Mineralium Deposita*, vol. 46, no. 8, pp. 841–857.
9. Mudd G. M. 2011, Global trends and environmental issues in nickel mining: sulphides versus laterites, Australia, Clayton, 35 p.
10. Pozhilenko V. I., Gavrilenko B. V., Zhirov D. V. et al. 2002, *Geologiya rudnykh rayonov Murmanskoy oblasti* [Geology of ore regions of the Murmansk region], Apatity, 359 p.
11. Barzhitskaya S. M., Sokolov S. V. 1982, *O zonal'nosti i skrytykh variatsiyakh sostava bogatykh rud odnogo iz mestorozhdeniy Pechengi* [Zonality and hidden variations in the composition of rich ores of one of the Pechenga deposits]. *Mineraly i paragenezisy mineralov medno-nikelevykh i kolchedannykh rud Kol'skogo poluoostrova* [Minerals and parageneses of minerals of copper-nickel and pyrite ores of the Kola Peninsula], Apatity, pp. 102–109.
12. Neradovskiy Yu. N., Gribushin G. M. 1974, *Mineral'naya i khimicheskaya zonal'nost' zalezhey gustovkraplennykh rud odnogo medno-nikelevogo mestorozhdeniya Pechengi* [Mineral and chemical zoning of the deposits of gypsum-grained ores of one copper-nickel deposit of Pechenga]. *Petrologiya, mineralogiya i geokhimiya*. Ser. «Voprosy geologii i metallogenii Kol'skogo poluoostrova» [Petrolology, mineralogy and geochemistry. Series "Problems of geology and metallogeny of the Kola Peninsula"], vol. 5, pt. 2, pp. 221–226.

Дмитрий Витальевич Таймасов,

tdv126@rambler.ru

Уральский государственный горный университет
Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Dmitriy Vital'evich Taimasov,

tdv126@rambler.ru

Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia