

ТАЙМАСОВ Д.В. (ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат»)

ХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЗАЛЕЖЕЙ РУД РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СУЛЬФИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЗАПОЛЯРНОЕ»

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: 1. Богатые вкрапленные руды, представляющие вкрапленное оруденение в перидотитах. 2. Брекчиевидные руды, образованные обломочным материалом. 3. Бедные вкрапленные руды с прожилково-вкрапленной минерализацией. 4. Сплошные руды, представляющие собой массивные выделения сульфидов. Работа основана на данных эксплуатационной и детальной разведки. Нами 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 таковым в густовкрапленных и брекчиевидных рудах. Зависимости между никелем, медью и кобальтом в рудах не остаются постоянными при изменении концентрации никеля в руде. Графики показали, что отношение Ni / Cu в брекчиях и рассеяновкрапленных рудах, а также в околорудных метаперидотитах, практически постоянны при разных содержаниях никеля, в среднем 2 : 1,5 и 1 соответственно, а в густовкрапленных рудах отмечена тенденция возрастания 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. Полученные результаты помогут в дальнейшем правильно рассчитать балансовые запасы эксплуатационных блоков и спланировать месячные, квартальные и годовые планы по добыче металлов.

Ключевые слова: месторождение «Заполярное»; ликвация; типы руд; линии регрессии; химическая зональность.

Месторождение «Заполярное» расположено на северо-западе Кольского полуострова (Печенгский блок) и входит в состав Печенгского района Мурманской области Российской Федерации.

В геологическом строении месторождения участвуют три крупных разновозрастных структурно-стратиграфических комплекса докембрийских образований: раннеархейский, позднеархейский и раннепротерозойский [4, 9, 13].

Печенгский структурный блок является частью Полмак-Пасвик-Печенгско-Варзугского пояса карелид Балтийского щита и протягивается с СЗ на ЮВ через всю Кольскую субпровинцию Лапландско-Кольско-Карельской провинции (восточная часть Балтийского щита) [6, 11].

Промышленные месторождения [3, 5] 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 [10, 12]. Оно приурочено к протяженной межпластовой тектонической зоне. В состав месторождения входят одно крупное Северное рудное тело (95 % запасов) и серия мелких линз-сателлитов [8].

Северное рудное тело (СРТ) прослежено по простиранию на расстояние 1000–1500 м, по падению на 1000 м. Элементы залегания рудного тела: азимут простираания 130–150° ЮВ, 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 мощно-



сти и разделяется по простирацию 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:

1. Богатые вкрапленные руды, представляющие вкрапленное оруденение в перидотитах, содержащих также сульфидные прожилки различной протяженности, и мощностью от нескольких мм до первых см.

2. Брекчиевидные руды, образованные обломочным материалом с высокой степенью измененных осадочно-метаморфических и магматических пород, сцементированных сульфидным и сульфидно-карбонатно-силикатным материалом.

3. Бедные вкрапленные руды характеризуются прожилково-вкрапленной минерализацией.

4. Сплошные руды представляют собой массивные выделения сульфидов, содержащие весьма незначительные по количеству вкрапленники нерудных минералов.

Исследование химической зональности руд проведено на данных эксплуатационной и детальной разведки. Нами была осуществлена разбраковка проб по типам руд. Используются полные горизонтальные пересечения, по которым проведен 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 [2].

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 богатых рудами восточного рудного столба, сложенного изменчивыми по концентрации, но преимущественно 2–3,5 % по Ni, рудами, согласно с

восточным («висячим») боком массива габбро, совпадает по склонению с направлением серии «борозд» в подошве рудного тела в диабазах.

В целом распределение рудных столбов по всем элементам подчинено основному структурному мотиву месторождения – ориентировке таких элементов как контакты массива габбро, флексурный перегиб рудного тела, «борозды» в подошве рудного тела, фиксируемые по структуре кровли диабазов, 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 Cu более четок линейно-струйчатый характер рудных столбов крупного плана с содержаниями 1–1,5 %, а также с 3 % и более, подчиненный основному мотиву структуры, а для Co 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 рудных тел (линзы «А», «В», «Д»). В целом это свидетельствует о развитии мощных зон трещиноватости, что, возможно, благоприятно сказалось на перераспределении Co, ассоциирующегося 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 Ni более широкие, а Cu – 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 Ni 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 модалового (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 «крупно-столбчатой» 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. Основное направление склонения рудных столбов ориентируется почти верти-

кально. По данным опробования эксплуатационной разведки, граница между бедными и богатыми разностями 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, 2). Эти данные позволяют предполагать, что поведение главных элементов – Cu , Co на глубине аналогично поведению никеля.

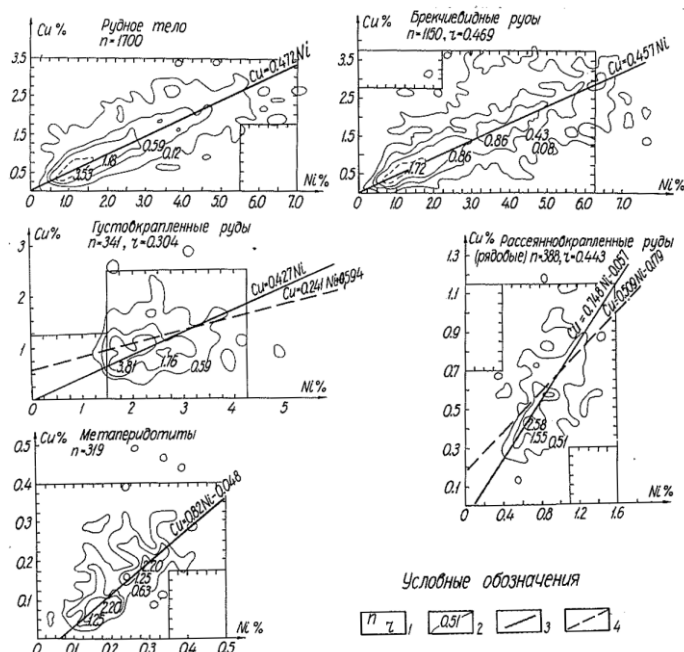


Рис. 1. Диаграмма зависимости содержания меди от содержания никеля

1 – число проб (n) и коэффициент корреляции (r); 2 – изолинии плотности точек на единицу площади в % от общего числа проб; 3 – линия регрессии и ее формульное выражение (по графическому построению); 4 – то же по математическим расчетам



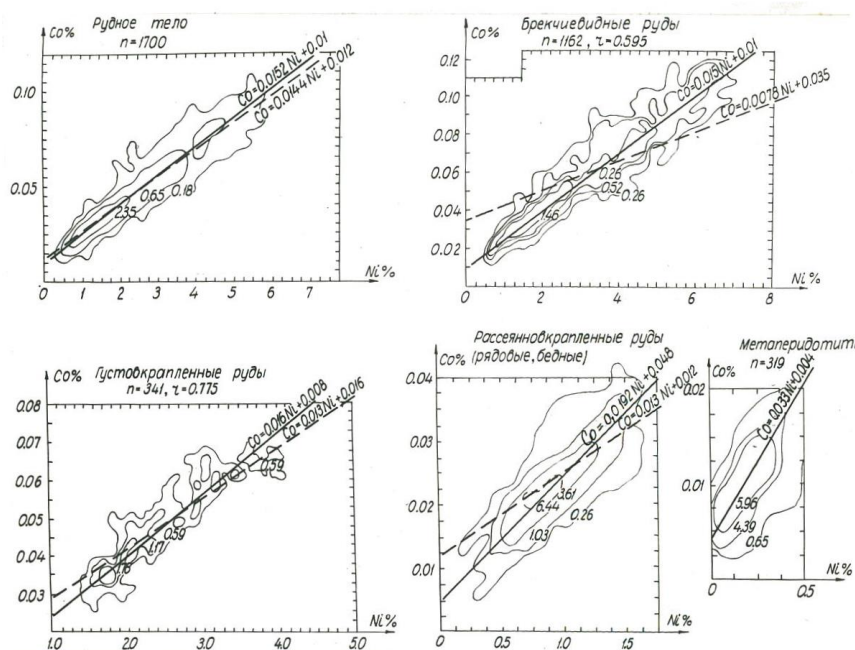


Рис. 2. Диаграмма зависимости содержания кобальта от содержания никеля

Анализ графиков, представленных на рис 1, 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 металлеридотитах практически постоянно при разных содержаниях никеля, в среднем 2 : 1,5 и 1 соответственно, а в густо вкрапленных рудах отмечена тенденция возрастания 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, отмечается 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 синклинальных «борозд» в диабазах, 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 густовкрапленных рудах к востоку. То есть во всех случаях концентрационные столбы не совпадают пространственно. Рудные столбы никеля в брекчие-

видных и густовкрапленных рудах 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. Таким образом, концентрический тип зональности в залежах густовкрапленных руд аналогичен ранее изученному на примере залежей месторождения Котсельваара [1, 7], но проявлен значительно менее контрастно, а также осложнен вследствие разрыва залежей. Распределение меди и кобальта на глубоких горизонтах взаимосвязано с никелем соответствующими отношениями (рис. 1–4). $Cu = 0,427 Ni$; $Co = 0,016 Ni + 0,008$. С увеличением концентрации никеля, т.е. с переходом в блоки богатых густовкрапленных руд, отношение Ni / Cu возрастает от 0,5 до 4 (см. рис. 3), а Ni / Co – от 40 до 55 и более, в зависимости от содержания никеля (см. рис. 4).

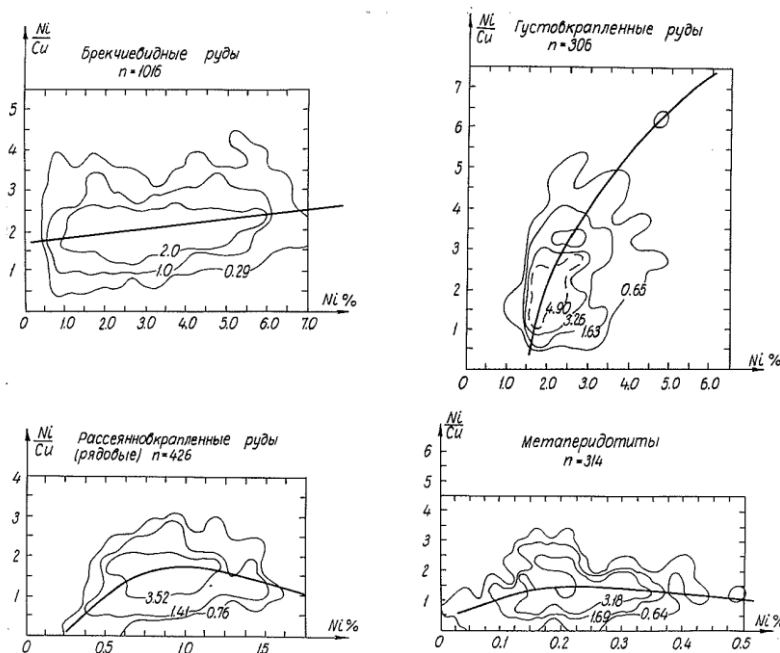


Рис. 3. Диаграммы зависимости величины отношения Ni/Cu от содержания никеля



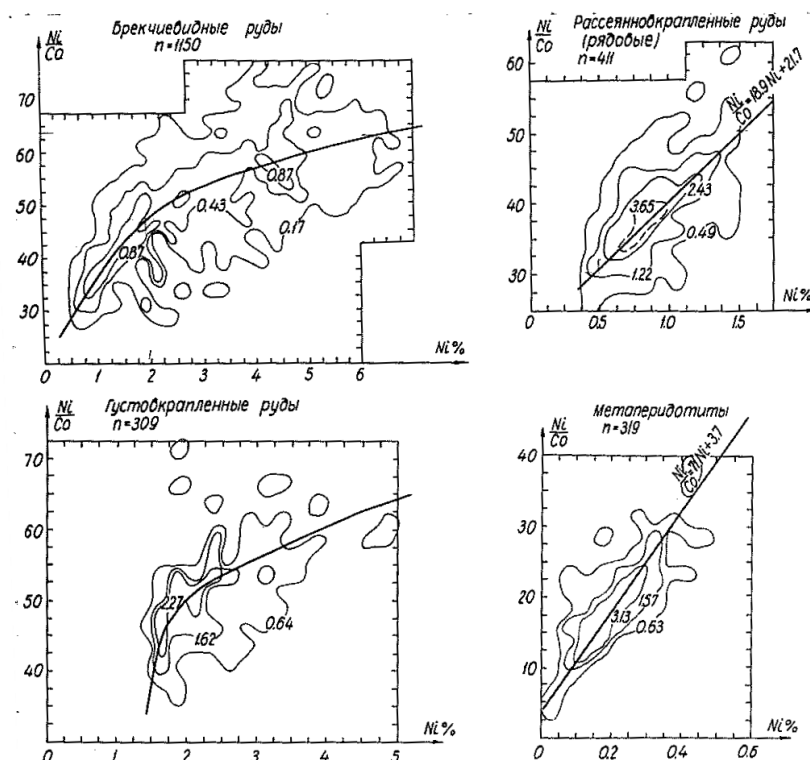


Рис. 4. Диаграммы зависимости величины отношения Ni/Co от содержания никеля

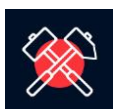
В рядовых вкрапленных рудах содержание элементов варьирует слабо. Тем не менее наблюдается некоторое обогащение полезными компонентами руд в средней части месторождения, а фланговые части залежи, в том числе и наиболее мощные на западе, сложены более бедными рудами. Повышение концентрации химических 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.

Геохимические соотношения между элементами рассеяновкрапленных руд существенно отличаются от брекчиевидных и густовкрапленных. Во-первых, для них характерно наиболее контрастное увеличение содержания меди с увеличением никеля (см. рис. 1); $Cu = 0,748Ni - 0,057$, во-вторых, аналогично ведет себя кобальт (см. рис. 2) $Co = 0,0192Ni + 0,048$. 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 меняется в рассеяновкрапленных рудах и отношение 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 содержаний никеля от 0,5 до 1,5 % и имеет форму прямой с уравнением $Ni / Co = 18,9Ni + 21,7$. Как уже отмечено выше, такую же закономерность изменения отношения имеют и бедные брекчии, это, на наш взгляд, 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 тела значительно меняет среднее отношение Cu / Ni.



Полученные результаты помогут в дальнейшем правильно рассчитать балансовые запасы эксплуатационных блоков и спланировать месячные, квартальные и годовые планы по добыче металлов.

Библиографический список

1. Астафьев Ю.А., Гончаров Ю.В., Нерадовский Ю.Н. и др. Исследование структуры глубинных частей медно-никелевых рудных полей и месторождений главных никеленосных районов Кольского полуострова. Заключительный отчет по теме 4-82-2541, 1985, кн. 1. С. 166, фонды КФАН СССР, ДСП.

2. Баржицкая С.М., Соколов С.В. О зональности и скрытых вариациях состава богатых руд одного из месторождений печенги. – В кн.: Минералы и парагенезисы минералов медно-никелевых и колчеданных руд Кольского полуострова. – Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1982. – С. 102-109.

3. Бежанова М.П., Стругова Л.И. Ресурсы, запасы и добыча важнейших видов полезных ископаемых. – М.: ОАО «ВНИИЗарубежгеология», 2011. – 145 с.

4. Беляев О.А., Петров В.П. О проблемах стратиграфии и корреляции докембрия Кольского региона: некоторые выводы по результатам составления карты метаморфических фаций Балтийского щита масштаба 1: 2 500 000 – Л.: Наука, 1987. – 154 с.

5. Беневольский Б.И. Состояние и пути развития минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов России // Разведка и охрана недр. – 2011. – №5 – С. 28-36.

6. Горбунов Г.И. Структуры медно-никелевых рудных полей и месторождений Кольского полуострова. – Л.: Наука, 1978.

7. Нерадовский Ю.Н., Грибушин Г.М. Минеральная и химическая зональность залежей густовкрапленных руд одного медно-никелевого месторождения Печенги. – В кн.: Петрология, минералогия и геохимия (сер. «Вопросы геологии и металлогении Кольского полуострова»). Вып. 5, ч. 2. – Апатиты, 1974. – С. 221-226.

8. Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В. и др. Геология рудных районов Мурманской области. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. – 359 с.

9. 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. No 6. – P. 1057-1070.

10. Maier W.D., Groves D.I. Temporal and spatial controls an the formation of magmatic PGE and Cu – Ni deposits // Mineralium Deposita. 2011. Vol. 46. No 8. – P. 841 – 857.

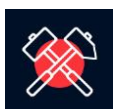
11. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Spec. Paper. 2012. No 53 – 401 p.

12. Mudd G.M. Global trends and environmental issues in nickel mining: sulphides versus laterites. Australia, Clayton: Monash Univ., 2011. – 35 p.

13. 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. No 3. – P. 277- 298.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2017, No. 1, pp. 59-65

Title:	Chemical zoning of "Zapolarnoe" deposit sulfide-copper-nickel ores of different types
Author 1	Name&Surname: Dmitriy V.Taymasov Company: Limited Liability Company "EuroChem-Usolsky potash plant" Address: 620144, Russia, Sverdlovsk reg., Yekaterinburg, ul. Kuibyshev, d.30 Work position: Leading Specialist Contacts: tdv126@rambler.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2017-1-59-65
Abstract:	Studies of chemical zoning of ore bodies for all ore types of "Zapolyarnoe" sulfide copper-nickel deposit were carried out. Sorting of samples by ore type was performed. The results allowed developing regression mathematical models for all the ore types, which determine the dependences of the ore copper and cobalt grades on nickel grade. It was revealed that the overall copper/nickel ratio in the ore body is predominantly governed by that in finely-disseminated ores, while the overall cobalt/nickel ratio is mainly determined by that in densely-impregnated and breccia ores. The relationships between nickel, copper, and cobalt in ores change with changing the ore nickel grade. The study findings will facilitate correct estimating



	balance reserves of extraction blocks and planning monthly, quarterly, and annual targets for the metal production
Keywords:	Zapolyarnoe deposit; ore body; nickel; cobalt; copper; liquation (segregation); ore types; regression lines; chemical zoning
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Astaf'ev Ju.A., Goncharov Ju.A., Naradovskij Ju.N. et al. Investigation of the structure underlying parts of copper-nickel ore fields and deposits of nickel main areas of the Kola Peninsula. Final Report on 4-82-2541, 1985, Vol. 1. S. 166 funds KFAN USSR, DSP. 2. Barzhickaja S.M., Cokolov S. V. About zoning and concealed variations composition rich ores of one of the deposits of Pechenga. - In the book .: Minerals and mineral parageneses of copper-nickel and pyrite ores of the Kola Peninsula. Apatity, ed. Kola Branch of the USSR, 1982, p. 102-109. 3. Bezhanova M.P., Strugova L.I. Resources, reserves and production of the most important minerals. – М.: JSC " VNIIZarubezhgeologija ", 2011. - 145 p. 4. Beljaev O.A., Petrov V.P. On the problems of the stratigraphy and correlation of Precambrian Kola region: some findings of the mapping of the metamorphic facies of the Baltic Shield, scale 1: 2 500 000 5. Benevol'skij B.I. The state and the development of the mineral resource base of precious and non-ferrous metals Russia // Exploration and conservation of mineral resources. 2011. №5 – pp 28-36 6. Gorbunov G.I. The structure of copper-nickel ore fields and deposits of the Kola Peninsula. Leningrad Univ. "Science", 1978. 7. Neradovskij Ju.N., Gribushin G.M. Mineral and chemical zoning of ore deposits gustov-kraplennyh a copper-nickel deposits of Pechenga. - In the book .: Petrology, Mineralogy and Geochemistry (series "Questions of Geology and metallogeny of the Kola Peninsula.) Issue 5, Part 2, apatite, 1974, p. 221-226. 8. Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhirov D.V., Zhabin S.V. Geology of ore districts of the Murmansk region. Apatity. Ed. KSC RAS, 2002. 359 p. 9. 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. No 6. – P. 1057-1070. 10. Maier W.D., Groves D.I. Temporal and spatial controls an the formation of magmatic PGE and Cu – Ni deposits // Mineralium Deposita. 2011. Vol. 46. No 8. – P. 841 – 857. 11. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Spec. Paper. 2012. No 53 – 401 p. 12. Mudd G.M. Global trends and environmental issues in nickel mining: sulphides versus laterites. Australia, Clayton: Monash Univ., 2011. – 35 p. 13. Song X. – Y., Danyushevsky L.V., Keays R.R., Chen L.- M. et al. Structural, lithological and geochemical constraints on the dynamic magma plumling system of the Yinchuan Ni – Cu sulphide deposits. NW China // Mineralium Deposita. 2012. Vol. 47. No 3. – P. 277- 298.

