

Для анализа характера распространения Ni внутри рудного тела может быть выбран любой из построенных разрезов (см. табл., рис. 2). Согласно визуальному анализу построенной блочной модели, можно отметить, что рудное тело обладает закономерным изменением содержания Ni: его содержание заметно выше ближе к подошве рудного тела и ниже – по направлению к кровле. Такое распространение совпадает с геологической характеристикой месторождения, по которой сульфидное медно-никелевое оруденение почти полностью сконцентрировано в придонной части массива – в перидотитах [Горбунов и др., 1999]. Массив в значительной степени эродирован, но по сравнению с месторождением Каула, которое находится в непосредственной близости от изученного месторождения, степень его сохранности гораздо выше благодаря тому, что богатые руды, сконцентрированные в нижних прикормных частях массива, оказались ниже современного уровня эрозионного среза. Таким образом, по анализу характера распределения Ni возможен весьма достоверный прогноз для выбора эффективной системы обработки месторождения.

#### Литература

Горбунов Г. И., Астафьев Ю. А., Гончаров Ю. В., Корчагин А. У., Нерадовский Ю. Н., Смолькин В. Ф., Соколов С. В., Шаров Н. В., Яковлев Ю. Н. Медно-никелевые месторождения Печенги. М.: ГЕОС, 1999. 236 с.

Коноплев А. В., Кустов И. В., Красильников П. А. Геоинформационные системы в геологии: учеб.-метод. пособие для студентов спец. 011100 «Геология» и 011500 «Гидрогеология и инженерная геология». Пермь: ПГУ, 2007. 100 с.

**Т. В. Светлицкая, П. А. Фоминых**

*Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск  
svt@igm.nsc.ru*

#### **Состав пирротина сульфидных руд интрузии Седова Заимка (Колывань-Томская складчатая зона) как критерий диагностики контактово-метаморфизованных медно-никелевых руд**

Региональный и контактовый метаморфизм как рудообразующий (изменение ранее образованных рудных ассоциаций) и рудообразующий (формирование новых рудных парагенезисов) процесс хорошо изучен на примере полиметаллических месторождений. Что касается регионального метаморфизма магматических Cu-Ni ( $\pm$  ЭПГ) сульфидных руд, на сегодняшний день эта проблема является слабо освещенной [Patterson, Watkinson, 1984; Stone et al., 2004; Tomkins et al., 2007; Спиридонов и др., 2015] и фактически неосвещенной – для условий контактового метаморфизма. В настоящей работе обсуждается состав пирротина из сульфидных руд интрузии Седова Заимка для выделения критериев диагностики метаморфизованных первично-магматических сульфидных руд и метасоматических сульфидов, развивающихся по метаморфизованному и/или первично-магматическим сульфидным рудам. Фактический материал для исследования включал в себя более 50 образцов зерна из скважин, пробуренных в юго-восточной части интрузии в ходе глубинного геологического

картирования на территории Мошковского и Колыванского районов Новосибирской области в 1977–1982 гг. [Петренко и др., 1982ф]. Микрозондовые исследования сульфидов выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Интрузия Седова Заимка с одноименным рудопроявлением Cu-Ni сульфидных руд расположена в 40 км севернее г. Новосибирска, в пределах Новосибирского прогиба Томь-Колыванской складчатой зоны. Эта небольшая (500×200 м) метаморфизованная габбро-перидотитовая интрузия, относящаяся к ташаринскому пикрит-габбро-долеритовому комплексу (P<sub>2</sub>), располагается среди контактово-метасоматических пород роговикового ореола Барлакского гранитного массива (T<sub>2-3</sub>). Она имеет псевдостратифицированное строение и состоит из двух основных горизонтов: нижнего (придонного) метаультрамафитового и верхнего метамафитового [Дергачев и др., 1980; Петренко и др., 1982ф; Глотов, 1984; Глотов, Кривенко, 1990]. В пределах интрузии установлены вкрапленные, гнездово- и прожилково-вкрапленные и массивные сульфидные руды [Дергачев и др., 1980; Петренко и др., 1982ф; Глотов, 1984; Глотов, Кривенко, 1990; Светлицкая, Соловьев, 2018]. Около 95 % объема сульфидных руд сложено пирротином (>85 %) халькопиритом и пентландитом.

Сульфидная минерализация интрузии Седова Заимка характеризуется следующими особенностями. Она приурочена к измененным магматическим породам, не наблюдается за пределами интрузивного тела и характеризуется типичным для магматических сульфидных месторождений минеральным составом пирротин + пентландит + халькопирит. Сульфиды представлены округлыми пирротиновыми включениями («сульфидными каплями») в оливине, содержащем включения хромшпинелидов, в оливинсодержащих габбро из верхней закалочной части интрузии. Это свидетельствует о первично магматическом ликвационном генезисе Cu-Ni-Fe сульфидов интрузии с сульфидной ликвацией до кристаллизации оливина и формированием маломощных невыдержанных горизонтов массивных/густовкрапленных сульфидных руд в придонной части интрузии и вкрапленной минерализации во всем объеме интрузивных пород. Тем не менее, полосчатые текстуры и порфиробластовые и гранобластовые структуры массивных руд в непосредственной близости от контакта с гранитной интрузией и менее выраженные в гнездово- и прожилково-вкрапленных и вкрапленных сульфидах свидетельствуют о том, что первично-магматические сульфиды подверглись метаморфизму, который привел к их перекристаллизации с формированием новых метаморфических структур и текстур руд.

Широкое развитие гнездово- и прожилково-вкрапленных сульфидных руд свидетельствует об интенсивной ремобилизации рудного вещества в пределах интрузии в ходе регрессивного этапа контактового метаморфизма и формировании метасоматических сульфидных ассоциаций с унаследованным минеральным составом пирротин + пентландит/виоларит + халькопирит. Это оруденение совмещено с участками, наложенными на метаморфизованную первично-магматическую сульфидную минерализацию. Тесная генетическая связь метасоматических сульфидов с новообразованными силикатами указывает на близодновременное формирование сульфидов и силикатов на регрессивной стадии контактового метаморфизма.

Имеющиеся на сегодняшний день результаты минералого-геохимического изучения Cu-Ni-Fe сульфидов позволяют наметить следующие закономерности. Пирротин во всех текстурных типах сульфидных руд интрузии характеризуется закономерным, узким диапазоном отношения Fe/S (ат. %) (0.85–0.91) и широкими вариациями содержаний Ni (0.1–1.7 мас. %). Отношение Fe/S не зависит от текстурного

типа руды или гипсометрического положения в разрезе интрузии. Эта особенность состава пирротина совместно с отсутствием зависимости между составами пирротина и ассоциирующего с ним пентландита отличает новообразованные сульфиды от магматических.

Обращают на себя внимание варьирующие, но высокие содержания Ni (0.1–1.7 мас. %) при устойчиво низких содержаниях Co ( $\leq 0.2$  мас. %) в пирротине вне зависимости от текстурного типа сульфидных руд. Возможно, повышенные содержания Ni при низких содержаниях Co в пирротине являются показателем метаморфически и/или метасоматически преобразованных первично-магматических сульфидных ассоциаций.

В массивных сульфидных рудах с выраженными метаморфическими структурами и текстурами отмечается положительная корреляция между отношениями Fe/S (ат. %) и содержаниями Ni в пирротине. Для пирротина из новообразованной метасоматической сульфидной ассоциации (включая пирротин из сульфидсодержащих полевошпатовых жил, секущих метагаббро интрузии Седова Заимка) характерна отрицательная корреляция между отношениями Fe/S (ат. %) и содержаниями Ni (хотя в ряде случаев встречается и слабая положительная корреляция, характерная для метаморфизованных сульфидов).

В массивных сульфидных рудах с порфиробластами пентландита пирротин содержит низкие концентрации Ni (0.06–0.4 мас. %): видимо, есть зависимость между содержанием Ni в пирротине и количеством пентландита, выделившегося из этого пирротина. Пирротин массивных руд «очищен» от Ni в результате формирования порфиробластов пентландита.

Для всех текстурных типов руд новообразованный метасоматический пирротин из (1) интерстиций между игольчатыми и спутанно-волокнистыми агрегатами амфибола вокруг сульфидных вкрапленников, (2) в сростании с силикатами, (3) в краевых частях сульфидных вкрапленников, (4) замещающий Fe-Ti оксиды, (5) из сульфидных прожилков обеднен Ni по сравнению с пирротинном из центральных частей сульфидных гнезд и вкрапленников. Степень обеднения варьирует в зависимости от содержания Ni в пирротине, слагающем центральные части сульфидных гнезд и вкрапленников, однако прослеживается слабое увеличение содержания Ni в пирротине сверху вниз по разрезу интрузивного тела (от кровли интрузии к ее подошве).

Пирротин из массивных и густовкрапленных метаморфизованных сульфидных руд, расположенных в непосредственной близости от контакта с Барлакским гранитным массивом, отличается повышенными содержаниями Zn (0.06–0.12 мас. %). В пирротине из вкрапленных и гнездово- и прожилково-вкрапленных сульфидных руд содержания Zn находятся на уровне или ниже предела обнаружения микрозондового метода (0.05 мас. %).

Таким образом, пирротин из первично-магматических сульфидных руд, перекристаллизованных в условиях контактового метаморфизма амфиболитовой фации, характеризуется повышенными концентрациями Ni, слабой положительной корреляцией между отношениями Fe/S (ат. %) и содержаниями Ni, повышенными содержаниями Zn. Пирротин из метасоматической сульфидной минерализации, развивающийся по метаморфизованным и/или первично-магматическим сульфидным рудам, отличается повышенными концентрациями Ni и слабой отрицательной или не выраженной корреляцией между отношениями Fe/S (ат. %) и содержаниями Ni.

*Работа выполнена в рамках реализации гранта Президента РФ № МК-5159.2018.5 и по государственному заданию ИГМ СО РАН.*

### **Литература**

*Глотов А. И.* Никеленосная пикрит-долеритовая формация Новосибирского Приобья // Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: Институт геологии и геофизики СО АН СССР, 1984. 247 с.

*Глотов А. И., Кривенко А. П.* Пермотриасовые габброиды Новосибирского Приобья // Медь-никеленосные габброидные формации складчатых областей Сибири. Новосибирск: Наука, 1990. С. 146–172.

*Дергачев В. Б., Глотов А. И., Терехов В. Н., Брюзгин Л. А.* Седовозаимский габбро-перидотитовый массив и связанное с ним сульфидное медно-никелевое оруденение // Геология и геофизика. 1980. Т. 21. № 11. С. 133–138.

*Петренко Н. Л., Терехов В. Н., Неволько А. И., Козлова В. М.* Геологическое строение и полезные ископаемые листов N-44-22-Б, Г и N-44-23-В. Отчет Чаусского участка геологосъемочной партии о результатах ГТК масштаба 1 : 50 000 за 1977–1982 гг. Новосибирск, 1982ф (Фонды НПО).

*Светлицкая Т. В., Соловьев К. А.* Сульфидное оруденение интрузии Седова Заимка (Кольвань-Томская складчатая зона, Россия): случай контактового метаморфизма медно-никелевых руд // Металлогения древних и современных океанов–2018. Вулканизм и рудообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2018. С. 120–124.

*Спирidonov Э. М., Кулагов Э. А., Серова А. А., Куликова И. М., Коротаева Н. Н., Середа Е. В., Тушенцова И. Н., Беляков С. Н., Жуков Н. Н.* Генетическая минералогия Pd, Pt, Au, Ag, Rh в норильских сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. 2015. № 57 (5). С. 447–476.

*Patterson G. C., Watkinson D. H.* Metamorphism and supergene alteration of Cu–Ni sulfides, Thierry mine, northwestern Ontario // Canadian Mineralogist. 1984. Vol. 22. P. 13–21.

*Stone W. E., Heydari M., Seat Z.* Nickel tenor variations between Archaean komatiite-associated nickel sulphide deposits, Kambalda ore field, Western Australia: the metamorphic modification model revisited // Mineralogy and Petrology. 2004. Vol. 82. P. 295–316.

*Tomkins A. G., Pattison D. R. M., Frost B. R.* On the initiation of metamorphic sulfide anatexis // Journal of Petrology. 2007. Vol. 48 (3). P. 511–535.

***В. Д. Бровченко, С. Ф. Служеникин, Е. В. Ковальчук, М. А. Юдовская***  
*Институт геологии рудных месторождений,  
минералогии, петрографии и геохимии РАН, г. Москва  
valeriibrovchenko@gmail.com*

### **Распределение ЭПГ в закаленных сульфидных твердых растворах горы Рудная, месторождение Норильск-1**

Закаленные сульфидные твердые растворы являются результатом кристаллизации несмешиваемой сульфидной жидкости при ликвидусных и субликвидусных температурах. Экспериментально показано, что при понижении температур до субсолидусных происходит распад и переуравновешивание сульфидных твердых растворов с образованием магматических сульфидов, таких как пентландит, пирротин, халькопи-