

СУЛЬФИДНЫЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОРОГЕНИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК

Федоренко В.А.

ОАО «ГМК «Норильский никель», Москва, Россия
e-mail: fedorenkova@nornik.ru

SULFIDE Ni-Cu DEPOSITS OF OROGENIC ENVIRONMENT

Fedorenko V.A.

MMC «Norilsk Nickel», Moscow, Russia
e-mail: fedorenkova@nornik.ru

Some magmatic Ni-Cu deposits of Mesoproterozoic to P-T age, originated at orogenic environment, are briefly characterized in the report. Some of them are of important economic significance. It is usual that numerous barren intrusions, which are petrologically similar to the ore-bearing ones, are closely associated with the deposits. Thus, if any of basic-ultrabasic intrusions in any orogenic area are barren, it does not mean that other similar massifs would be barren indispensably.

В книге А.Дж. Налдретта [3] упомянуты только четыре медно-никелевые месторождения (все непромышленные), сформированные в условиях орогенеза: Мокси, Катадин, Абердиншайр и Рона, причем коротко охарактеризованы только два первые из них. Между тем, такие месторождения достаточно многочисленны, и некоторые из них имеют важное промышленное значение. В данном обзоре скомпилированы литературные данные о некоторых месторождениях орогенических поясов, возраст которых варьирует от рифея до пермо-триаса.

1. Месторождение мезопротерозойского (рифейского) возраста Кабанга (Танзания) находится в пределах орогенического пояса Кибаран (Центральная Африка), сложенного метасадочными породами (в том числе сульфидсодержащими), прорываемыми гранитами. Породы были метаморфизованы во время орогении Кибаран 1330-1275 млн. лет назад [5]. Вдоль тектонического шва в центральной части пояса внедрены базит-ультрабазитовые интрузивы комплекса Кабанга-Мусонгати. Анализ цирконов из интрузивов показал возраст 1370-1200 млн. лет, что согласуется со временем орогении.

Ультрабазитовые тела комплекса, имеющие мощность несколько сотен метров, дифференцированы по классической схеме: дуниты, лерцолиты, нориты, габбронориты, анортозиты. Характерная особенность пород – высокое начальное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (среднее 0.7087, в отдельных образцах до 0.712), что свидетельствует об интенсивной контаминированности коровым материалом.

Сульфидное Cu-Ni оруденение известно только в одном интрузиве комплекса – Кабанга. Оруденение (массивное, матричное, сетчатое и крапленое) преимущественно локализуется у основания интрузива. Запасы месторождения составляют примерно 21 млн. руды со средним содержанием 1.66% Ni, 0.23% Cu и 0.14% Co (МПП низки) при бортовом содержании никеля 0.7%. Запасы никеля 349 тыс. т. Месторождение не обрабатывается.

Обилие сульфидной массы, невысокие содержания цветных и, особенно, благородных металлов в сульфиде представляют свидетельства, что при формировании руд магма поглотила большой объем внешней серы. Эта сера частично могла происходить из вмещающих интрузив осадочных пород: среднее отношение S/Se в осадочном (пустом) пирротине района составляет 100 000; близкие значения установлены и в некоторых разновидностях магматических руд.

2. Месторождение палеозойского возраста Агуабланка, находящееся на юге Испании, было открыто в 1993 г. Запасы месторождения, подтвержденные на начало 2004 г., составили 15.7 млн. т руды со средним содержанием никеля 0.66%, меди – 0.46%, МПП – 0.47 г/т, золота – 0.13 г/т. Запасы никеля в металле составляют 103.6 тыс. т. Запасы и содержания металлов в рудах невелики, тем не менее, компания Rio Narcea Gold Mines Ltd в 2004 г. приступила к освоению месторождения, начав строительство карьера [6].

Месторождение расположено в пределах зоны Осса Морена Иберийского массива – наиболее западной в Европе цепи герцинид. В районе развиты образования докембрийского фундамента, деформированные при кадоминанской орогении (620-480 млн. лет назад) и породы кембрия – нижней перми, испытавшие воздействие позднепалеозойской герцинской орогении (390-300 млн. лет назад).

Интрузив Агуабланка представляет собой небольшое (примерно 2×2 км) ассиметрично-зональное тело, сложенное габбровыми породами с ультрамафитовыми включениями в северной части. Возраст интрузива остается предметом дебатов. Есть предположение, что он был внедрен до герцинских деформаций. Нельзя исключать возможность, что его формирование связано с кембрийским рифтингом, который зафиксирован в регионе.

Сульфидное оруденение находится вблизи северного контакта интрузива. Оруденелая зона представляет собой пластинообразное тело мощностью около 500 м, утоняющееся к краям. Она образована серией субвертикальных слоев норитов, габброноритов, габбро и долеритов (с сантиметровыми включениями троктолитов, оливиновых габбро и пироксенитов. Ortega et al. [6] выделяют шесть типов руд: вкрапленные интерстиционные; сетчатые до массивных руды, содержащие до 85% сульфидов (они составляют 10-15 % общих запасов месторождения); брекчиевые руды, встречающиеся внутри линз массивных сульфидов; нодулы сантиметрового размера; пирротиновые прожилки, секущие вкрапленные руды; халькопиритовые прожилки, секущие вкрапленные, массивные руды и обломки брекчий. Содержания Ni в рудах варьируют от 0.08% (борт) до 7%.

Обсуждая генезис руд, Ortega et al. [6] полагают, что сульфидная жидкость сегрегировалась на глубине; месторождение Агуабланка было сформировано при внедрении более чем одной магмы. Предполагается, что фракционирование начального сульфидного расплава протекало в несколько этапов. Большое влияние на состав руд оказала их постмагматическая эволюция.

3. Месторождения в интрузивах кортландитовой формации позднепалеозойско-триасового возраста (Китай). Четыре из шести важнейших медно-никелевых месторождений Китая имеют позднепалеозойско-триасовый возраст. Они находятся в герцинских орогенических поясах или вблизи их границ. К их числу относится месторождение Хунчилин-7, второе по значению в Китае.

Рудное поле Хунчилин [2, 7], расположенное на северо-востоке Китая, приурочено к крупному останцу палеозойских глубоко метаморфизованных пород, находящемуся в поле гранитоидов. Породы испытали напряженную складчатость и разделены на ряд чешуй многочисленными крутопадающими разрывами (преимущественно взбросо-сдвигами).

Метаморфическая толща вмещает более 30 мелких интрузивных тел базит-ультрабазитового состава. Среди них выделяют предположительно каледонские пироксенит-габбро-монцитовые и предположительно герцинские габбро-перидотитовые интрузивы. Те и другие содержат сульфидную медно-никелевую минерализацию, но экономически значимое оруденение встречается только в габбро-перидотитовых массивах, внедрение которых, согласно Ar-Ar-датировкам произошло 220 млн. лет назад. Габбро-перидотитовый комплекс образован девятью мелкими интрузивами. Рудоносными являются только два из них (№№ 1 и 7). Они отвечают среднему и крупному месторождениям (соответственно) и в настоящее время отрабатываются.

Интрузив № 1 имеет лополитоподобную форму (при размере 980×180×560 м). Сверху вниз в разрезе представлены габбронориты, бронзититы, перидотиты (89 объемных процента интрузива) и оливиновые бронзититы (4 об. %). Последние вмещают главную массу сульфидов и фактически являются рудой. Все породы содержат бурый амфибол (типа баркевикита) и флогопит (3-30%), что сближает их с кортландитами и шрисгеймитами.

В оливиновых бронзититах интрузива № 1 в среднем содержится 35% сульфидов. Руды вкрапленные, сидеронитовые, пятнистые и брекчиевидные. Реже оруденение встречается в перидотитах, а также в виде автономных сульфидных жил, секущих интрузивные породы.

Интрузив № 7 представляет собой крупную дайку, залечивающую крутопадающий разлом. Она на 96% сложена ортопироксенитами, содержащими 8-9 об. % сульфидов. В работе [7] говорится, что запасы месторождения Хунчилин № 7 составляют 88.9 млн. т руды, содержащей 2.31% никеля. Если эти сведения верны, в месторождении должны быть представлены не только вкрапленные руды, но и большой объем богатых руд.

Существуют две точки зрения на генезис сульфидных никелевых месторождений района Хунчилин [7]. Одни исследователи считают, что основная масса сульфидов образовалась в результате сульфидной сегрегации в области генерации ультраосновного расплава и поступала в интрузивные камеры в жидком виде вместе с силикатной магмой. Другие геологи, включая Э.Г. Конникова с соавторами [2] отдают предпочтение модели формирования богатых сульфидами и чисто сульфидных магм в промежуточных магматических резервуарах, откуда происходило последовательное внедрение в конечные интрузивные камеры сначала чисто силикатного расплава, а затем – обогащенной сульфидами магмы. Они полагают, что без накопления сульфидной жидкости в промежуточных резервуарах невозможно объяснить наблюдаемые очень высокие отношения объема сульфидов к объему вмещающих их силикатных пород.

В области герцинских-индосинийских структур Зайсан-Гобийского складчатого пояса, простирающегося от бассейна Оби через Восточный Казахстан и Северный Сынцзян до Гобийского сегмента герцинид Южной Монголии, известно множество (несколько сотен) малых интрузивов медь-никеленосной пикрит-долеритовой формации [4]. Однако, достаточно значительные проявления сульфидного медно-никелевого оруденения, известные на сегодняшний день, единичны [1]. На территории России это рудопоявление Седова Заимка (Новосибирское Приобье), в Восточном Казахстане – месторождение Южный Максут, в северном Сынцзяне (Китай) промышленное месторождение Колотонк (в некоторых работах его называют Калатанк), несущее преимущественно богатые, обогащенные медью руды.

Интрузив Колотонк прорывает углистые аргиллиты, алевролиты и мергели нижнего карбона. Его возраст, определенный Rb-Sr и K-Ag методами, отвечает позднему карбону–ранней перми.

На поверхности интрузив имеет линзообразную форму (размер 700×300 м). В вертикальном разрезе тела (снизу вверх) выделяются три зоны: 1) биотит-амфиболовых габбродиабазов (до 200 м мощностью); 2) переслаивания биотит-амфиболовых норитов, оливин-двопироксеновых долеритов и пикродолеритов с прослоями амфиболовых плагиоперидотитов (кортландитов) (до 300 м); 3) биотит-амфиболовых диоритов (около 100 м). Богатые сульфидные руды с содержанием Ni в среднем 3.5 %, Cu – 6.1 % залегают в нижней части зоны переслаивания основных и ультраосновных пород; они окружены ореолом вкрапленных руд (Ni – 0,63 %, Cu – 0,96 %). Руды довольно богаты золотом (до 4,7 г/т) и серебром (до 160 г/т), но бедны МПП (менее 1 г/т Pt и Pd) [1]. Высокая сульфидонасыщенность интрузива (богатые руды составляют около 1/5 объема тела) и размещение оруденения в разрезе свидетельствуют о совместном внедрении силикатной магмы и обособившегося на глубине сульфидного расплава в конечную магматическую камеру.

4. Месторождения в синорогенных интрузивах палеозойского возраста: Мокси и Катадин (США). Интрузивы Мокси и Катадин (описанные в книге А.Дж. Налдретта [1]) находятся в горах Аппалачи. Они имеют девонский возраст (внедрены в течение акадской орогении) и залегают в силурийско-девонских метаосадочных породах. Оба интрузива включают сульфидные никелевые месторождения, которые не являются промышленными в силу низкого содержания цветных и благородных металлов в сульфиде.

Интрузив Мокси в плане представляет собой удлиненное тело длиной около 70 км при ширине 2-8 км. В западной части интрузива практически повсеместно развита сульфидная вкрапленность, а там, где интрузив близко граничит с сульфидсодержащими породами формации Хилдретс, выделяются три небольших рудных тела, содержание сульфидов в которых составляет 10-50 %. Изотопный состав серы и отношение S/Se в сульфидах не оставляют сомнений, что сера происходит из вмещающей интрузив формации Хилдретс.

Сульфидная жидкость, образовавшая руды интрузивов Мокси и Катадин, несомненно, сегрегировалась *in situ*. Однако, сульфиды четырех других охарактеризованных месторождений орогенической обстановки (Кабанга, Агуабланка, Хунчилин, Колотонк), по мнению изучавших их геологов, образовывались в промежуточных камерах на глубине, откуда внедрялись в конечные камеры в виде сульфидно-силикатной смеси или чистой сульфидной жидкости. Месторождения, сформированные подобным образом, отличаются высокой пропорцией рудного вещества по отношению к силикатным породам интрузивов, однако, сульфиды таких месторождений нередко довольно бедны цветными металлами и, особенно, МПП.

Можно заключить, что орогеническая обстановка была благоприятной для «выдавливания» сульфидов из промежуточных камер и формирования богатых сульфидами интрузивов.

Примечательно, что среди многочисленных интрузивов комплекса Кабанга-Мусонгати рудоносным является только один. В рудном поле Хунчилин рудоносны только два из девяти интрузивов. В Зайсан-Гобийского складчатом поясе процент рудоносных массивов вообще ничтожен. По-видимому, если сульфидная жидкость и существовала на глубине, она «выдавливалась» не во все интрузивы. Если какие-то базит-ультрабазитовые интрузивы данного орогенического пояса оказываются пустыми, это не означает, что другие сходные интрузивы тоже будут безрудными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глозов А.И., Кривенко А.П., Поляков Г.В., Уварова Е.А. Петрология сульфидного медно-никелевого месторождения Колотонк (Северо-Западный Китай) // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 11. С. 990-1001.
2. Конников Э.Г., Янь Хунцуйань, Си Айхуа, Дэю Сун. Сульфидные никелевые месторождения рудного поля Хунчилин (провинция Цзилинь, Китай) // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46, № 1. С. 346-354.
3. Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. СПб: Изд. СПбГУ, 2003. 487 с.
4. Поляков Г.В., Кривенко А.П., Изох А.Э., Глозов А.И. Медь-никеленосная пикрит-долеритовая формация Зайсано-Гобийской складчатой зоны // Доклады РАН. 1994. Т. 336, № 2. С. 229-233.
5. Evans D.M., Vyemelwa L., Gilligan J. Variability of magmatic sulphide compositions at the Kabanga nickel prospect, Tanzania // Journal of African Earth Sciences. 1999. V. 29. № 2. P. 329-351.
6. Ortega L., Lunar R., Garcia-Palomero F., et al. The Aguaglanca Ni-Cu-PGE deposit, Southwestern Iberia: magmatic ore-forming processes and retrograde evolution // Canadian Mineralogist. 2004. V. 42. P. 325-350.
7. Zhou M.F., Yang Z.X., Song X.Y., et al. Magmatic Ni-Cu-(PGE) sulfide deposits in China // Cabri L.J. (ed.). The geology geochemistry mineralogy and mineral beneficiation of the platinum-group elements. Can. Inst. Min. Metall. Petrol. Spec. V. 54. 2002. P. 619-636.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ АССОЦИАЦИЙ ПОРОД МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОГО ПОЯСА ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Федотова А.А.*, Хаин Е.В.*, Ремизов Д.Н., Некрасов Г.Е.*, Разумовский А.А.***

*Геологический институт РАН, Москва, Россия

e-mail: fedotova@ginras.ru

**Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: dmitry_remizov@vsegei.ru

THE SUCCESSION OF MAGMATIC EVENTS RESULTED IN THE CRYSTALLIZATION OF ROCK ASSOCIATIONS IN THE POLAR URAL'S MAFIC-ULTRAMAFIC BELT

Fedotova A.A.*, Khain E.V.*, Remizov D.N., Nekrasov G.E.*, Razumovsky A.A.***

*Geological Institute RAS, Moscow, Russia

e-mail: fedotova@ginras.ru

**All-Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: dmitry_remizov@vsegei.ru

According to the previously published and new geological and geochronological data the succession of geological events reflected in the Polar Ural's mafic-ultramafic belt evolution was reconstructed. The belt incorporates rock units of different age derived from a variety of geodynamic settings. Well known Syumkeu, Rai-Iz and Voykar-Syn'ya complexes are representing a typical ophiolite rock association. These rocks subjected to low-grade alteration occur as a series of tectonic sheets. Magmatic bodies of fresh gabbro-norites, websterites and olivine gabbro-norites are recognized as a chain of large massifs and small lenses intruded into rocks forming earlier tectonic sheets. The chain is situated