

**Сульфидное платинометально-медно-никелевое и малосульфидное
платинометальное оруденение Йоко-Довыренского интрузива,
Северное Прибайкалье: отличия состава и генезиса**

Йоко-Довыренский расслоенный дунит-троктолит-габбровый массив находится примерно в 60 км к северу от п. Нижнеангарск на оз. Байкал. Его возраст 728.4 ± 3.4 млн лет [Арискин и др., 2013]. Интрузив представляет собой линзовидное тело размером 26×3.5 км, субсогласно залегающее во вмещающих карбонатно-терригенных, преимущественно, черносланцевых отложениях осевой части Сыннырской рифтогенной структуры.

Сульфидное платинометально(ЭПГ)-медно-никелевое оруденение приурочено к плагиоцерцолитам краевой зоны массива и к силлоподобным апофизам того же состава в подстилающих породах, реже встречается в габброноритах. В северо-западном эндоконтакте имеется четыре участка оруденения: Озерный, Большой, Центральный, Рыбачий. Прогнозные ресурсы: Ni – 147 тыс. т, Cu – 51.01 тыс. т, Co – 9.47 тыс. т.

Тела вкрапленных руд в плагиоперидотитах прослеживаются по простиранию до 1400–1700 м при ширине выхода на поверхность 8–25 м (в раздувах до 80 м). Ориентировка линз вкрапленного оруденения, как правило, совпадает с простирани-

ем и падением подошвы. Массивное оруденение представлено жилообразными телами внутри ареалов сульфидной вкрапленности. Они развиты, в основном, на северо-восточном фланге (участок Озерный). Наибольшая по размерам жила прослеживается по простиранию на 650 м при мощности 0.7–1.0 м. Жилы падают почти вертикально (50–70°) до глубин более 500 м. Пострудными нарушениями сульфидные тела разбиты на блоки и смещены друг относительно друга, массивные руды преобразованы в брекчиевидные.

В рудах преобладает гексагональный пирротин (70–95 %) при подчиненном количестве троилита и пентландита (до 25 %) и халькопирита (до 6 %). Второстепенные минералы – кубанит, сфалерит, пирит, виоларит, хромшпинелиды, ильменит, магнетит; редкие – макинавит, герсдорфит, борнит, титаномагнетит, галенит, маухерит, молибденит. Сульфиды интенсивно замещаются вторичным магнетитом [Качаровская, 1986]. Средние содержания основных компонентов в рассеянно-вкрапленных рудах (%) – 0.137 Ni, 0.017 Co, 0.055 Cu, в густовкрапленных – 0.911, 0.055, 0.345, в жильных (сплошных и брекчиевидных) – 1.82, 0.101, 0.475, во вкрапленно-прожилковых в габбронорит-диабазе – 0.684, 0.05, 0.49. Для всех типов руд характерна повышенная кобальтоносность (до 0.14 мас. %). Встречается кобальтин, изоморфная примесь кобальта постоянно присутствует в пентландите, виоларите, никелине, макинавите, герсдорфите (в последнем до 12.9 мас. % Co) [Качаровская, 1986]. Палладий резко преобладает (до 3.8 г/т) над Pt (до 0.5 г/т). Содержания остальных ЭПГ находятся на пределе чувствительности анализа (г/т): Rh до 0.018, Ru до 0.045, Ir до 0.033 и Os до 0.021. Максимальные содержания Au (г/т) (до 0.32), Ag (16), Se (23), Te (14) в жильных рудах.

Минералы благородных металлов изучены в пробе жильной брекчиевидной руды из канавы по ручью Школьный (участок «Озерный») [Рудашевский и др., 2003]. Ее состав (мас. %): Ni 2.14, Cu 0.42, Co 0.104, S 19.80, Zn 0.029, Pb 0.011, (г/т) Pt 0.112, Pd 0.725, Rh <0.02, Ru 0.027, Ir 0.018, Os 0.012, Au 0.44. Сульфиды представлены гексагональным пирротином с второстепенными троилитом, пентландитом, халькопиритом и кубанитом. Отмечаются галенит и маухерит. Определены 60 зерен минералов до 63 мкм, из них 51 зерно сперрилита, пять зерен садбериита и по одному зерну геверсита, мертиита I, надретита и электрума. Палладий изоморфно входит в маухерит в количестве 0.08–0.19 мас. %.

Горизонт **малосульфидного платинометалльного оруденения** (Риф I) на границе расслоенной серии и габброидной зоны прослеживается на 20 км и на 1 км вглубь по рельефу: зафиксирован севернее г. Новый Довырен (2010 м) и на берегу р. Ондоко (1010 м). Оруденение приурочено к шширо- и жилообразным телам такситовых лейкогаббро и анортозитов размером от нескольких сантиметров до 1 м, редко более, зачастую обрамленных габбро-пегматитами. По простиранию тела протягиваются согласно расслоенности на 2–5 м, иногда до 10–20 м, образуя прерывистый горизонт. Концентрации суммы ЭПГ достигают 12.1 г/т при содержаниях (%) Cu до 0.71, Ni – 0.43, S – 1.60 и Au – 3.34 г/т. Содержания Pt достигают 4.1, а Pd – 7.8 г/т. В большинстве проб Pt преобладает над Pd с отношением Pt/Pd до 2.93. Концентрации других ЭПГ достигают (г/т): Os – 0.02, Ir – 0.13, Ru – 0.06 и Rh – 0.08. Прогнозные ресурсы: Pt – 66 т, Pd – 46.2 т и Au – 46.2 т.

Изучена проба анортозита из коренного обнажения в стенке кара на участке Центральный [Орсоев и др., 2003]. Состав (%): S 0.36, Ni 0.060, Cu 0.172, (г/т) Pt 1.29, Pd 1.05, Rh 0.015, Ir 0.005, Au 0.955. Обнаружено 73 зерна: 16 минералов ЭПГ, само-

родные Au, Ag, электрум, стефанит, аргентит и амальгама. Количественно преобладают мончеит, потарит и тетраферроплатина. Наиболее крупные зерна (до 62 мкм) образуют мончеит, котульскит, потарит и тетраферроплатина. Минералы ЭПГ ассоциируют с кубанитом и халькопиритом, реже – пентландитом, талнахитом и борнитом, локализуются в промежутках их зерен, прожилках самых поздних генераций сульфидов, чаще всего – на контакте сульфидов и плагиоклаза, сопровождаемая вторичные силикаты (цоизит, пренит, хлорит). Тетраферроплатина и изоферроплатина ассоциируют с троилитом и железистым пентландитом. Палладий изоморфно входит в пентландит – до 360 г/т.

Подобные тела малосульфидного оруденения ЭПГ отмечаются на границах крупных литологических пачек выше по разрезу, но мощность тел и концентрации благородных металлов закономерно снижаются к кровле интрузива.

Происхождение сульфидного оруденения. Тенденции изменчивости парагенезиса и химического состава сульфидов позволяют судить о повышении фугитивности S в ходе рудно-магматического процесса при понижении температуры. Типоморфные особенности сульфидов вкрапленных и массивных руд в плагиоперидотитах идентичны, что свидетельствует об их формировании в сходных термодинамических условиях из единого сульфидного расплава [Конников и др., 1990]. Корреляция состава сульфидной минерализации и несущих ее интрузивных пород свидетельствует о магматическом происхождении оруденения, его сингенетичности вмещающим магматическим породам, и что источником металлов (Fe, Ni, Cu, Co) для руд был сам расплав.

Исходя из данных о магматическом происхождении металлов и серы [Глотов и др., 1998], морфологии интерстициальных рудных выделений, наличия редких капель сульфидов в оливине и других силикатах, можно считать, что ведущим механизмом образования оруденения было отделение сульфидного расплава от магмы во время кристаллизации последней. Уровень концентрации ЭПГ в сульфидах определялся коэффициентами их распределения между сульфидным и силикатным расплавами.

На локализацию руд большое влияние оказало взаимодействие исходного расплава с вмещающей толщей. Об этом свидетельствует приуроченность максимальных концентраций сульфидов к эндоконтактовым зонам с наиболее отчетливыми признаками ассимиляции. Избирательная контаминация без существенной валовой ассимиляции обогащала магму водой, щелочами, S, вероятно, также Cl, SiO₂ и органическим веществом, что определило сложный состав магматического флюида, способствовало снижению растворимости серы.

Размещение малосульфидного оруденения ЭПГ контролируется развитием сложного комплекса контрастных по составу и зернистости магматических образований, нарушающих своим пространственным положением общую стратификацию массива. Максимальное обогащение благородными металлами сопровождается сложным субсолидным преобразованием ранних силикатов, кристаллизацией медистых ассоциаций сульфидов и широким развитием ОН-содержащих минералов. Накопление ЭПГ может быть следствием процессов кристаллизационной дифференциации – смены кумулюсных минералов и эволюции остаточного расплава с его прогрессивным насыщением летучими компонентами и щелочами. Ограниченный объем сульфидной жидкости, располагающийся на фронте движения флюидов, мог выступать как коллектор-осадитель ЭПГ.

Повышение роли Pt и Au в общем балансе благородных металлов по разрезу массива связано с их преимущественным перераспределением во флюидную фазу и

переносом из нижней части магматической камеры, где при обособлении сульфидной жидкости в ней происходило накопление преимущественно Pd с более высокими халькофильными свойствами. Даже из относительно «сухих» магм, таких как исходный расплав Йоко-Довыренского массива, на поздней стадии кристаллизации могут отделяться флюиды, переносящие металлы. Кристаллизация интеркумулусного расплава вызывает отделение исключительно богатого Cl флюида, растворяющего и переносящего металлы (в первую очередь Pt и Cu), S и щелочи по мере продвижения вверх сквозь толщу кумулуса. Повышение содержания Cl во флюиде может вызываться и процессами зонной очистки. Cl-содержащий флюид также мог поступать в расплав из рыхлых обводненных терригенно-карбонатных осадков за счет трансвапоризации [Кислов и др., 1997].

Флюид, благодаря низкой плотности, поднимался сквозь интерстициальный расплав. При попадании в более горячие и менее насыщенные летучими компонентами участки флюид должен был растворяться в интеркумулусном расплаве. Поскольку основные магмы могут растворять лишь ограниченное количество S, это приводило к отделению сульфидного расплава, концентрирующего ЭПГ из поднимающихся флюидов или интеркумулусного расплава.

Фронт флюидного насыщения, движущийся через затвердевающую толщу кумулуса, останавливался на границах контрастных по составу и свойствам зон интрузива, анортозитовых линзах, которые во время формирования представляли собой полости и зоны разряжения [Кислов, 1993], иных препятствиях, в число которых могут входить повторные инъекции расплава, зоны деформаций, растяжения и повышенной трещиноватости в толще полузакристаллизованного кумулуса.

Геохимия РЗЭ [Кислов, 1997] не подтверждает определяющую роль в формировании малосульфидного оруденения ЭПГ дополнительных инъекций магмы, свидетельствуя в пользу повышенного значения флюидного экстрагирования, переноса и концентрирования. К аналогичному выводу приводят и данные по изотопному составу S [Глотов и др., 1998]. Другим аргументом может служить тот факт, что минералы ЭПГ встречаются не только в агрегатах сульфидов, но и на контакте с силикатами, а также в силикатной матрице в тесном срастании с OH-содержащими минералами.

Высокомедистый состав сульфидной платиноносной ассоциации, особенности локализации минералов ЭПГ, различия Cu-Ni и малосульфидного оруденения ЭПГ по распределению и соотношению благородных металлов, особенности состава силикатных включений в хромшпинелидах, хлорная специализация OH-содержащих минералов, данные по изотопному составу S сульфидов и геохимии РЗЭ свидетельствуют о значительной роли обогащенных Cl восстановленных [Konnikov et al., 2000] флюидов в формировании малосульфидного оруденения ЭПГ.

Литература

Арискин А. А., Костицын Ю. А., Конников Э. Г. и др. Геохронология Довыренского интрузивного комплекса в Неопротерозое (Северное Прибайкалье, Россия) // Геохимия. 2013. № 11. С. 955–1052.

Глотов А. И., Кислов Е. В., Орсов Д. А. и др. Геохимия изотопов серы в различных типах сульфидного оруденения Йоко-Довыренского массива // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 2. С. 228–233.

- Качаровская Л. Н.* Сульфидные медно-никелевые руды Йоко-Довыренского расслоенного плутона (состав и условия образования) // Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Улан-Удэ, 1986. 20 с.
- Кислов Е. В.* Особенности формирования анортозитов Йоко-Довыренского расслоенного массива // Геология и геофизика. 1993. № 6. С. 76–81.
- Кислов Е. В.* Геохимия редкоземельных элементов и особенности формирования малосульфидного платинометалльного оруденения Йоко-Довыренского массива // Доклады Академии наук. 1997. Т. 354. № 1. С. 89–92.
- Кислов Е. В., Конников Э. Г., Орсов Д. А. и др.* Роль хлора в формировании малосульфидного платинометалльного оруденения Йоко-Довыренского расслоенного массива // Геохимия. 1997. № 5. С. 521–528.
- Конников Э. Г., Качаровская Л. Н., Загузин Г. Н. и др.* Особенности состава главных минералов сульфидных руд Байкальского медно-никелевого месторождения (Северное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 1990. № 2. С. 59–66.
- Орсов Д. А., Рудашевский Н. С., Крецер Ю. Л. и др.* Благороднометалльная минерализация малосульфидного оруденения в Йоко-Довыренском расслоенном массиве (Северное Прибайкалье) // Доклады Академии наук. 2003. Т. 390. № 2. С. 233–237.
- Рудашевский Н. С., Крецер Ю. Л., Орсов Д. А. и др.* Палладиево-платиновая минерализация в жильных Cu-Ni рудах Йоко-Довыренского расслоенного массива // Доклады Академии наук. 2003. Т. 391. № 4. С. 519–522.
- Konnikov E. G., Meurer W. P., Neruchev S. S. et al.* Fluid regime of platinum group elements (PGE) and gold-bearing reef formation in the Dovyren mafic-ultramafic layered complex, eastern Siberia, Russia // Mineralium Deposita. 2000. Vol. 35. № 6. P. 526–532.