

минералогии УрО РАН // *Металлогения древних и современных океанов–2017. Дифференциация и причины разнообразия рудных месторождений*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2017. С. 201–206.

Грабежев А. И. Рений в медно-порфировых месторождениях Урала // *Геология рудных месторождений*. 2013. Т. 55. № 1. С. 16–32.

Грабежев А. И., Хиллер В. В. Рений в молибдените Томинского медно-порфирового месторождения (Южный Урал, Россия): результаты микрозондового изучения // *Записки РМО*. 2015. Ч. CXLIV. № 1. С. 81–93.

Ciobanu C. L., Cook N. J., Kelson C. R. et al. Trace element heterogeneity in molybdenite fingerprints stages of mineralization // *Chemical Geology*. 2013. Vol. 347. P. 175–189.

Cook N., Ciobanu C. L., George L. et al. Trace element analysis of minerals in magmatic-hydrothermal ores by laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry: Approaches and Opportunities // *Minerals*. 2016. 6, 111; doi:10.3390/min6040111.

Pašava J., Svojtka M., Veselovský F. et al. Laser ablation ICPMS study of trace element chemistry in molybdenite coupled with scanning electron microscopy (SEM) – An important tool for identification of different types of mineralization // *Ore Geology Reviews*. 2016. Vol. 72. P. 874–895.

Plotinskaya O. Y., Abramova V. D., Groznova E. O. et al. Trace element geochemistry of molybdenite from porphyry Cu deposits of the Birgilda-Tomino ore cluster (South Urals, Russia) // *Mineralogical Magazine*. 2018. Vol. 82. № 2 (в печати).

Plotinskaya O. Y., Grabezhev A. I., Tessalina S. G. et al. Porphyry deposits of the Urals: geological framework and metallogeny // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 85. P. 153–173.

Stein H. J., Markey R. J., Morgan J. W. et al. The remarkable Re ± Os chronometer in molybdenite: how and why it works // *Terra Nova*. 2001. Vol. 13. P. 479–486.

Т. В. Светлицкая¹, К. А. Соловьев^{1,2}

¹ – *Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск*
svi@igm.nsc.ru

² – *Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск*

**Сульфидное оруденение интрузии Седова Заимка
(Колывань-Томская складчатая зона, Россия):
случай контактового метаморфизма медно-никелевых руд**

Проблема диагностирования регенерированного магматического сульфидного оруденения и интерпретации метаморфогенно-гидротермальных рудных концентраций на сегодняшний день остается одной из недостаточно изученных и разработанных вопросов рудной геологии. Это может привести к построению ущербных генетических моделей, в которых преобразованные сульфидные руды ошибочно трактуются как первично-магматические. Интрузия Седова Заимка (40 км севернее г. Новосибирска, правый берег р. Обь) представляет собой небольшую габбро-перидотитовую интрузию, с которой пространственно связано сульфидное Cu-Ni оруденение. Она представляется хорошим объектом для изучения влияния контактового метаморфизма на преобразование магматических Cu-Ni руд, поскольку располагается среди пород роговикового ореола крупного гранитного массива, а ее юго-восточная часть находится в непосредственном контакте с кровлей гранитной интрузии. В данной работе мы приводим результаты структурно-текстурного и минералого-

геохимического изучения сульфидного оруденения интрузии Седова Заимка, чтобы показать, какими изменениями сопровождается контактовый метаморфизм магматической Cu-Ni минерализации. Фактический материал для исследования включал в себя более 50 образцов керна 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., в результате которого было открыто и оценено рудопоявление Седова Заимка [Петренко и др., 1982ф].

Интрузия Седова Заимка расположена в пределах Новосибирского прогиба Колывань-Томской складчатой зоны (КТЗ), в области сочленения ее с Западно-Сибирской плитой. Она принадлежит к ташаринскому пикрит-габбро-долеритовому комплексу пермского возраста, с которым в КТЗ пространственно и генетически связана сульфидная Cu-Ni минерализация [Глотов, 1984; Сотников и др., 1999; Росляков и др., 2011]. Интрузия имеет северо-западное простирание, протяженность ~500 м при ширине от 100 до 300 м и представляет собой лополитообразное тело, залегающее под маломощной толщей (20–30 м) неоген-четвертичных отложений, в 0.5 км от северо-западной зоны эндоконтакта Барлакского гранитного интрузива триасового возраста [Глотов, 1984]. Вмещающие Седову Заимку терригенные отложения верхнего девона – нижнего карбона метаморфизованы до роговиков пироксен-роговиковой фации. Минералого-петрографические и петрохимические особенности состава пород, слагающих интрузию Седова Заимка, представлены в работах [Дергачев и др., 1980; Петренко и др., 1982ф; Кривенко и др., 1983; Глотов, 1984; Глотов, Кривенко, 1990; Сотников и др., 1999]. Нижняя часть интрузии (около 1/3 от объема) сложена метаперидотитами, представляющими собой агрегат мелкозернистого амфибола, хлорита, талька, биотита, с редкими реликтами оливина, пироксенов и плагиоклаза. Верхняя часть интрузии (около 2/3 от объема) сложена метагаббро – породами, состоящими из агрегата игольчатых, пластинчатых или тонкочешуйчатых кристаллов амфибола, биотита, хлорита, иногда талька, с реликтовыми габбродолеритовыми участками.

В пределах интрузии Седова Заимка выделяют три основных текстурных типа руд [Дергачев и др., 1980; Петренко и др., 1982; Кривенко и др., 1983; Глотов, 1984; Росляков и др., 2011]: (1) массивные сульфидные (80–95 % сульфидов от объема породы) – маломощные линзовидные тела в метаперидотитовой части; (2) гнездово- и прожилково-вкрапленные руды (количество сульфидов от первых до 60–70 об. %), локализующиеся в метаперидотитах и метагаббро; (3) вкрапленные руды (количество сульфидов от первых до 20–30 об. %), приуроченные преимущественно к метагаббро. Главными минералами сульфидных руд являются пирротин, халькопирит, пентландит и виоларит. Акцессорные минералы представлены пиритом, а также сульфоарсенидами Ni и Co, арсенидами Ni, сфалеритом, аргентопентландитом, галенитом, теллуrowисмутитами, висмутином, алтаитом, гесситом, самородным Bi [Светлицкая, 2017].

Изучение структурно-текстурных взаимоотношений, химического состава и внутреннего строения сульфидов из основных типов руд интрузии Седова Заимка позволило выявить следующие особенности. Массивные руды сложены крупными (до 5–7 мм) порфириновидными агрегатами виоларита ($Ni_{1.56}Fe_{1.35}Co_{0.09}S_4$, 7–10 % от общего количества сульфидов), который практически полностью замещает пентландит ($Fe_{3.7-4.0}Ni_{4.5-4.9}Co_{0.2-0.4}S_8$), и более мелкими ксеноморфными зернами халькопирита (3–5 %) в матриксе агрегатов мелкозернистых сотовидных зерен пирротина ($Fe_{0.86-0.91}S$, 85–90 %). Пирротин характеризуется отсутствием ламелей пентландита и содержит

включения нерудных минералов и хромистого магнетита. Халькопирит содержит включения сфалерита. В массивных рудах в небольшом количестве (<1 %) присутствуют пирит, герсдорфит, никелин, маухерит. Внутри зерен пирротина отмечаются малочисленные микровключения алтаита, гессита, хедлеита.

Гнездово- и прожилково-вкрапленные сульфидные руды сложены пирротинном ($\text{Fe}_{0.85-0.91}\text{S}$, 90–95 %), который содержит изометричные и прожилковидные выделения виоларита ($\text{Ni}_{1.47-1.80}\text{Fe}_{1.07-1.35}\text{Co}_{0.09-0.27}\text{S}_4$) и/или пентландита ($\text{Fe}_{4.7-5.3}\text{Ni}_{3.8-5.1}\text{Co}_{0.09-0.50}\text{S}_8$) (1–2 %). Халькопирит (3–5 %) развит по периферии гнезд и вкрапленников, а также слагает тонкие прожилки в породе. В непосредственной близости от контакта с гранитной интрузией богатые сульфидные руды характеризуются полосчатой текстурой. Повсеместно сульфидные гнезда и вкрапленники в породе сопровождаются ореолом тонкой интерстициальной сульфидной вкрапленности (пирротин, виоларит и халькопирит выполняют интерстиции между игольчатыми зернами амфибола). Широко развиты октаэдрические сетки ильменита, приуроченные к краевым частям сульфидов. Пирротин и халькопирит содержат включения игольчатого амфибола, реже апатита, сфена, плагиоклаза, граната и часто встречаются в сростаниях с амфиболом, плагиоклазом, сфеном, биотитом, скаполитом. Пирротин представлен агрегатами мелких зерен с частым развитием границ между зернами под углом 120°. Внутри халькопирита отмечаются ксеноморфные и скелетные выделения сфалерита. Редко в сростании с халькопиритом устанавливается аргентопентландит ($\text{Ag}_{0.9-1.0}(\text{Fe}_{4.5-4.8}\text{Ni}_{3.3-3.4})\text{S}_8$). По пирротину развивается пирит и герсдорфит; характерно присутствие самостоятельных зерен и прожилков герсдорфита в породе. Пирротин и халькопирит содержат микровключения галенита, алтаита, гессита, хедлеита. Хедлеит также отмечается в виде включений внутри зерен герсдорфита и в виде малочисленных самостоятельных выделений внутри скаполита.

Вкрапленные сульфидные руды по минеральному составу и структурно-текстурным взаимоотношениям аналогичны гнездово- и прожилково-вкрапленным рудам. В пирротине ($\text{Fe}_{0.84-0.89}\text{S}$, 90–95 %) отмечаются изометричные и прожилковидные выделения виоларита ($\text{Ni}_{1.43-1.70}\text{Fe}_{1.14-1.44}\text{Co}_{0.13-0.16}\text{S}_4$) и/или пентландита ($\text{Fe}_{3.7-4.9}\text{Ni}_{3.8-4.7}\text{Co}_{0.3-1.30}\text{S}_8$) (1–2 %). Халькопирит (3–5 %) тяготеет к периферийным частям сульфидных вкрапленников, а также слагает тонкие прожилки в породе. Во вкрапленных рудах в небольшом количестве (менее 1 %) присутствуют сфалерит, пирит, герсдорфит, кобальтин. Внутри зерен пирротина отмечаются микровключения галенита, алтаита и гессита, герсдорфит содержит редкие включения хедлеита и галенита.

Как показывают наши исследования, около 95 % объема сульфидных руд рудопроявления Седова Заимка сложено пирротинном, халькопиритом и пентландитом, при этом количество пирротина во всех текстурных типах руд составляет более 85 %. Выдержанный минеральный состав и пространственная ассоциация сульфидного оруденения с интрузивными ультрамафит-мафитовыми породами предполагает магматическое ликвационное происхождение основного объема сульфидных руд. Присутствие округлых пирротинных включений («сульфидных капель») в оливине с включениями хромшпинелидов из габбро верхней части интрузии свидетельствует о том, что сульфидная ликвация произошла до кристаллизации оливина. В то же время, широкое развитие гнездово- и прожилково-вкрапленных сульфидных руд не согласуется с магматическим генезисом, т. к. способность сульфидной жидкости к миграции по ослабленным зонам в породе крайне ограничена [Mungall, Su, 2005],

и указывает на интенсивное перемещение рудного вещества в пределах интрузии в ходе регрессивного этапа контактового метаморфизма. Тесная пространственная связь сульфидов с новообразованными силикатами выражена в присутствии (1) многочисленных включений игольчатого амфибола, реже апатита, сфена, плагиоклаза, граната в пирротине и халькопирите, (2) сростаний сульфидов с амфиболом, плагиоклазом, эпидотом, сфеном, бледноокрашенным биотитом, скаполитом, (3) тонкой вкрапленности пирротина, пентландита и халькопирита в интерстициях между игольчатыми и спутанно-волокнистыми агрегатами амфибола вокруг сульфидных вкрапленников и указывает на близодновременное формирование сульфидов и силикатов на регрессивной стадии контактового метаморфизма при активном участии воды. Многочисленные сетки ильменита в пирротине (ильменитовые «скелеты»), образовавшиеся при распаде титаномагнетита с последующим замещением магнетита пирротинном, и отсутствие пирита в рудных парагенезисах указывают на то, что регрессивный этап метаморфизма проходил в существенно восстановительных условиях при высокой фугитивности серы и низкой активности кислорода.

Пирротин во всех текстурных типах сульфидных руд интрузии Седовой Заимки характеризуется стабильным отношением Fe/S (0.85–0.91) и широкими вариациями Ni (0.1–1.7 мас. %). Отношение Fe/S не зависит от текстурного типа руды или гипсометрического положения в разрезе интрузии и не коррелирует с содержаниями Ni в пирротине. Подобные особенности состава, совместно с отсутствием зависимости между составами пирротина и ассоциирующего с ним пентландита, указывают на то, что исходный состав пирротина был существенно преобразован, и новообразованный пирротин по своим химическим особенностям кардинально отличается от магматического.

Таким образом, контактовый метаморфизм магматической сульфидной минерализации интрузии Седова Заимка сопровождался изменением (1) текстур (появление полосчатых текстур; присутствие октаэдрических сеток ильменита в сульфидах; тесная ассоциация сульфидов с вторичными силикатами), (2) структур (появление порфиробластовых и гранобластовых структур, эмульсионные структуры распада сфалерита в халькопирите) и (3) минералогии (присутствие Fe-Ni-Co сульфидоарсенидов и арсенидов, пирита, хедлеита, галенита, гессита, алтаита, преобладание моноклинного пирротина с широкими вариациями Ni, отсутствие зависимости между составами пирротина и ассоциирующего пентландита).

Работа выполнена в рамках реализации гранта Президента Российской Федерации № МК-5159.2018.5 и при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект 16-05-00980).

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. Пермотрисасовые габброиды Новосибирского Приобья / Медь-никеленосные габброидные формации складчатых областей Сибири / Отв. ред. А. П. Кривенко, Г. В. Поляков. 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.

Кривенко А. П., Глотов А. И., Казеннов А. И., Мисюк В. Д. Петрология никеленосного пикрит-долеритового комплекса в Новосибирском Приобье / В кн.: Петрология и рудоносность магматических формаций Сибири. Отв. ред. Ю. А. Кузнецов. Новосибирск: Наука, 1983. С. 5–48.

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 геолого-съёмочной партии о результатах ГГК масштаба 1:50 000 за 1977–1982 гг. Новосибирск, 1982ф (Фонды НПО).

Росляков Н. А., Щербачев Ю. Г., Алабин Л. В. и др. Минерагеня области сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. Новосибирск: СО РАН, филиал «Гео», 2011. 243 с.

Светлицкая Т. В. Первая находка палладийсодержащего галенита (медно-никелевое рудопроявление Седова Заимка, Западная Сибирь) // Доклады Академии Наук. 2017. Т. 476. № 2. С. 186–189.

Сотников В. И., Федосеев Г. С., Кунгурцев Л. В. и др. Геодинамика, магматизм и металлогения Колывань-Томской складчатой зоны. Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1999. 227 с.

Mungall J. E., Su S. Interfacial tension between magmatic sulfide and silicate liquids: constraints on kinetics of sulfide liquation and sulfide migration through silicate rocks // Earth and Planetary Science Letters. 2005. Vol. 234. P. 135–149.

Е. А. Пихутин

*Сибирский научно-исследовательский институт геологии,
геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), г. Новосибирск
ea.pi@ya.ru*

Интерпретация аномальных геохимических полей в восточной части Восточно-Таннуольского рудного района (Республика Тыва)

Восточно-Таннуольский рудный район (ВТРР) расположен в южной части Республики Тыва, на границе России с Монголией, и относится к Таннуольско-Улугуйской зоне Алтае-Саянской минерагенической провинции. Для всей Таннуольско-Улугуйской минерагенической зоны характерен комплекс металлических полезных ископаемых, генетически связанных с островодужными венд(?)–раннекембрийскими вулканогенно-осадочными комплексами и прорывающими их кембрийско-ордовикскими гранитоидами аккреционно-коллизийного этапа [Руднев, 2013].

В пределах ВТРР известны многочисленные проявления и пункты минерализации золота (Аптаринский прогнозируемый узел) золото-сульфидно-кварцевой формации, меди, свинца, цинка колчеданно-полиметаллической формации (Ирбитейский прогнозируемый узел), меди и молибдена молибден-медно-порфириновой формации, а также железа, меди, свинца, серебра в скарнах и кварцевых жилах. Основная часть перспективных объектов полезных ископаемых и прогнозируемых узлов приходится на западную часть района, минерагеническое районирование которой выполнено при проведении ГДП-200 листа М-46-Х (Хову-Аксы) [Ветров и др., 2016ф; Черных и др., 2017]. Восточная часть района с аналогично высокими перспективами остается незатронутой современными региональными исследованиями.

Работа выполнена при создании геохимической основы листа М-46-ХI (Бай-Хаак) в рамках геолого-съёмочных работ подготовительного периода. В основу