

*Хромых С. В., Владимиров А. Г., Крук Н. Н., Куйбида М. Л., Травин А. В.* Первые свидетельства активности Таримского плюма в Восточном Казахстане // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. Вып. 5. С. 152–154.

*Щерба Г. Н., Беспяев Х. А., Дьячков Б. А. и др.* Большой Алтай. Геология и металлогения. Алма-Аты, 2000. Кн. 2. 400 с.

**Т. В. Светлицкая**

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

**Минеральные парагенезисы сульфидных руд  
Чайского медно-никелевого месторождения (Северное Прибайкалье)**  
(научный руководитель Н. Д. Толстых)

Чайское месторождение относится к собственно магматическим сульфидным медно-никелевым месторождениям в синорогенных полихронных ультрамафит-мафитовых плутонах. Чайский массив, вмещающий одноименное Cu-Ni месторождение, входит в число ультрамафит-мафитовых плутонов, образующих субширотный пояс никеленосных интрузий Байкало-Становой металлогенической зоны [Конников и др., 1995]. Расположен он на северо-западных склонах Верхнеангарского хребта, примерно в 90 км северо-восточнее оз. Байкал. Залегаet в пределах северо-западного крыла Кичеро-Мамского антиклинория вблизи сочленения последнего с Олоkitским синклиномием. Традиционно Чайским массивом именуется юго-западная часть крупного (около 40 км<sup>2</sup>) Безымянного плутона, отделенная от последнего правосторонним сдвигом, проходящим по долине р. Огиендо. В нем сосредоточена большая часть ультраосновных пород и практически все медно-никелевое оруденение [Конников и др., 1995].

Образцы руд для изучения были любезно предоставлены Е. В. Кисловым (ГИ СО РАН, г. Улан-Удэ). Обработка каменного материала выполнялась в ИГМ СО РАН. Анализы минералов были выполнены там же на микроанализаторе «Camebax-Micro», аналитик О. С. Хмельникова.

В плане Чайский массив имеет груболинзовидную форму и залегаet субсогласно с породами рамы, представленными здесь кристаллическими сланцами с горизонтами мраморов и высокоглиноземистых метапелитов, метаморфизованных в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Хотя внутреннее строение массива и характеризуется зональным расположением слагающих его пород, плутон не обладает ясно выраженными признаками первичного расслоения [Конников и др., 1995; Леснов, 1972].

Центральную часть интрузива слагают серпентинизированные дуниты, выделяемые в качестве I интрузивной фазы Чайского плутона. По периферии дуниты окружены перидотитами (плагиолерцолиты, в меньшей степени шрисгеймиты, верлиты и гарцбургиты). Перидотиты массива одними авторами выделяются в качестве самостоятельной II интрузивной фазы [Леснов, 1972]. Другие [Конников и др., 1995; Орсов и др., 1991] дуниты и перидотиты относят к единой интрузивной фазе I.

Внешнюю, наибольшую по объему, часть массива составляют безоливиновые габбронориты и роговообманковые габбро. Эти породы отчетливо более поздние по отношению к дунитам и перидотитам, и выделяются в самостоятельную (III по [Леснов, 1972] или II по [Конников и др., 1995; Орсов и др., 1991]) интрузивную фазу. На контакте ультраосновных пород с габброноритами развиты реакционные пироксениты.

Среди пироксенитов выделяется несколько морфогенетических типов [Конников и др., 1995]. Наиболее важное значение имеют крупные линзовидные и жилообразные тела среди ультрамафитов (10×100 м). К этому типу приурочено наиболее богатое оруденение, локализуемое на выклинивании и по периферии пироксенитовых тел. Вторым по распространенности типом являются плагиовестериты, развивающиеся в эндоконтакте габброноритов с вмещающей метаморфической толщей. С ними ассоциирует безникелевое пирротинное оруденение в южном эндоконтакте массива.

В массиве довольно широко проявлена жильная серия, представленная маломощными (первые метры) дайками пикритов и диабазовых порфиритов, пересекающих все разновидности ультраосновных и основных пород.

Состав минералов в различных типах пород Чайского плутона меняется незначительно. Оливин – 10–20 % Fa, ортопироксен – бронзит ( $f = 14–23\%$ ), клинопироксен – субкальциевый авгит ( $f = 14–24\%$ ), а плагиоклаз содержит около 50–70 % An. Всем породам свойственно присутствие высокотитанистой магматической роговой обманки (парагсита), указывающей на обогащенность исходного расплава  $H_2O$ . Кристаллизация пород плутона происходила при  $T = 1025–1150\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $P = 2.5–4.0\text{ кбар}$ ;  $f_{O_2} = 10^{-7}–10^{-9}\text{ МПа}$ . Распределение РЗЭ в породах плутона имеет слабо дифференцированный характер при незначительном обогащении легкими лантаноидами. Изотопные отношения  $Sr^{87}/Sr^{68}$  варьируют от 0.7024 до 0.7039, что свидетельствует о происхождении пикритовых выплавов из вещества деплетированной мантии. Возраст массива по Rb-Sr методу – 737 млн лет, а по Sm-Nd методу – 660 млн лет [Конников и др., 1995].

Все практически значимое сульфидное медно-никелевое оруденение в Чайском массиве сосредоточено в осевой части ультрамафитового ядра плутона и прослеживается в субширотном направлении на 900–950 м при средней мощности рудной зоны порядка 100 м. В этой полосе оруденение распространено крайне неравномерно. Особенностью локализации оруденения в Чайском массиве (и это подчеркивалось всеми исследователями) является его тесная пространственная сопряженность с пироксенитами, а также его секущее положение по отношению к внутренней структуре интрузива.

В пределах рудного поля Чайского месторождения выделяется [Конников и др., 1995] несколько морфотекстурных типов руд: 1) рассеянно-вкрапленные (бедные руды) (до 20 % сульфидов); 2) густовкрапленные (богатые руды) (30–50 % сульфидов); 3) массивные (50–100 % сульфидов); 4) брекчиевидные; 5) рудные blastomylonites. Некоторые авторы (в частности, [Трунева и др., 1978]) все оруденение считают сингенетическим, другие ([Конников и др., 1995; Орсов и др., 1991] выделяют два типа оруденения – сингенетический (бедновкрапленные руды в дунитах и перидотитах) и эпигенетический (ассоциируют с пироксенитами). Основанием для этого служат: 1) различный состав сульфидов сингенетических (троилит + пентландит) и эпигенетических (пирротин + пентландит + халькопирит + кубанит) руд; 2) в последних

встречены пирротин-пентландитовые включения (ксенолиты) [Трунева и др., 1978], свидетельствующие, по крайней мере, о двух этапах сульфидного рудообразования.

Руды Чайского месторождения характеризуются преобладанием Ni над Cu (отношение Ni/Cu всегда больше единицы), причем наиболее никелистые руды характерны для ортопироксенитов с богатым вкрапленным оруденением и рудных blastomylonitов [Конников и др., 1995].

Главными рудными минералами Чайского Cu-Ni месторождения являются пирротин и пентландит, второстепенными – халькопирит, примесными – пирит, кубанит, маккинавит, талнахит, поторанит, хейкокит, валлериит, виоларит, сфалерит, кобальтин, молибденит, магнетит, ильменит и хромшпинелиды.

Наиболее распространенной структурой во всех типах руд является гипидио-морфнозернистая, обусловленная взаимным срастанием зерен главных рудообразующих минералов. В сплошных рудах имеют место порфировидные структуры – в зернистой массе халькопирит-пентландит-пирротинового состава выделяются крупные (до 5 см) фенокристаллы пирита, относимые к ксеногенным [Трунева и др., 1978]. Во всех типах руд распространены структуры распада твердого раствора пирротин + пентландит (пламевидные, линзовидные, преимущественно субпараллельные), реже халькопирит + кубанит (только во вкрапленных рудах).

Оруденение в серпентинизированных дунитах представлено мелкой (0.2–2.0 мм) интерстициальной равномерно рассеянной по породе вкрапленностью с содержанием сульфидов 1–4 %. Для него характерна довольно устойчивая сульфидная ассоциация троилит + железистый пентландит ( $\text{Fe}_5\text{Ni}_4\text{S}_8$ ) ± халькопирит (± маккинавит [Орсоев и др., 1991]).

Оруденение в перидотитах представлено преимущественно интерстициальной (редко каплевидной) вкрапленностью разного размера (от 0.01 до 4.0 мм), местами переходящей в гнездовую, до сидеронитовой. Количество сульфидов колеблется от 0.5 до 10 % во вкрапленных рудах и от 10–15 до 45–50 % в гнездовых и сидеронитовых. По результатам микрозондового анализа в перидотитах выделяются три сульфидные ассоциации: 1) троилит + железистый пентландит ( $\text{Fe}_5\text{Ni}_4\text{S}_8$ ) + халькопирит ± сфалерит; 2) гексагональный пирротин + троилит + пентландит ( $\text{Fe}_{4.5}\text{Ni}_{4.5}\text{S}_8$ ) + халькопирит ± сфалерит; 3) гексагональный пирротин + никелистый пентландит ( $\text{Fe}_4\text{Ni}_5\text{S}_8$ ) + халькопирит ± сфалерит.

Оруденение в пироксенитах представлено интерстициальной вкрапленностью (реже отмечаются «каплевидные» выделения) разного размера (до 8 мм), гнездовыми и сидеронитовыми рудами. Количество сульфидов колеблется от 0.5 до 50–60 %. В общем, отмечается некоторое уменьшение роли пирротина (55–80 % от общей массы сульфидов) при одновременном увеличении роли пентландита (до 35 %) и халькопирита (1–2 до 15 %, местами до 45–50 %). По результатам микрозондового анализа в пироксенитах, также как и в перидотитах, выделяются три сульфидные ассоциации: 1) троилит (± гексагональный пирротин) + железистый пентландит ( $\text{Fe}_5\text{Ni}_4\text{S}_8$ ) + халькопирит ± кубанит; 2) гексагональный пирротин + пентландит ( $\text{Fe}_{4.5}\text{Ni}_{4.5}\text{S}_8$ ) + халькопирит; 3) моноклинный пирротин + гексагональный пирротин + никелистый пентландит ( $\text{Fe}_4\text{Ni}_5\text{S}_8$ ) + халькопирит. Примесные минералы представлены сфалеритом, талнахитом, поторанитом, хейкокитом, маккинавитом, виоларитом, валлериитом.

Массивные руды на 15–60 % сложены пирротинном, 10–25 % составляет пентландит, 5–30 % – халькопирит. Количество пирита варьирует от 5–10 до 35–40 % в зависимости от наличия фенокристаллов. Для них характерна ассоциация моноклин-

ный пирротин + никелистый пентландит ( $\text{Fe}_4\text{Ni}_5\text{S}_8$ ) + халькопирит + пирит ± валле-риит, сфалерит.

Оруденение в габброноритах представлено интерстициальной, реже – «капле-видной», вкрапленностью до 4 мм (обычно меньше, но местами и до 7–8 мм), как правило, неравномерно рассеянной по породе. Местами отмечаются гнездовое и прожилково-гнездовое оруденение. Количество сульфидов обычно составляет до 2–3 %, участками повышаясь до 6–8 %. Для него характерна ассоциация моноклинный пирротин + пентландит + халькопирит ± пирит, сфалерит, валле-риит.

Впервые для Чайского месторождения в сульфидной вкрапленности габбронорита был обнаружен  $mss$  ( $\text{Fe,Ni,Co}_{1-x}\text{S}$ ). Он представлен мелкими вытянутыми ксеноморфными выделениями в пентландите.  $Mss$  содержит ~ 43 мас. % Fe, ~ 19.0–20.0 мас. % Ni, ~ 36 мас. % S. Примесь Co ~ 2.5 мас. %, Cu ~ 0.02 мас. %.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Каждая интрузивная фаза Чайского массива характеризуется собственной сульфидной ассоциацией, отличающейся от остальных минералогией и химией составляющих ее сульфидных минералов.

2. В оруденении в перидотитах и пироксенитах выделяются три сульфидных ассоциации, границы распространения которых не совпадают с границами распространения морфотекстурных типов руд.

3. Оруденение в габброноритах и массивные руды характеризуются ассоциацией моноклинный пирротин + никелистый пентландит + пирит, что свидетельствует о повышенных значениях фугитивности серы при их формировании.

4. Широкое развитие структур распада пентландита в пирротине и кубанита в халькопирите указывают на высокотемпературные условия образования сульфидных руд Чайского медно-никелевого месторождения.

5. Изменение парагенезисов сульфидных минералов от ранних фаз внедрения к поздним эволюционирует с увеличением медистой (увеличение доли халькопирита) и никелистой (изменение состава пентландита от железистого к никелистому) составляющих.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта № ОН3-2.1.

### Литература

Конников Э. Г., Цыганков А. А., Орсов Д. А. Чайское медно-никелевое место-рождение // Месторождения Забайкалья. Т. 1. Кн. 1. М.: Геоинформмарк, 1995. С. 39–47.

Конников Э. Г., Орсов Д. А., Цыганков А. А. Модель сульфидного рудообразо-вания в полихронных никеленосных ультрамафит-мафитовых комплексах // Геология рудных месторождений, 1992. Т. 34. № 1. С. 110–118.

Леснов. Ф. П. Геология и петрология Чайского габбро-перидотит-дунитового никеленосного плутона (Северное Прибайкалье). Новосибирск: Наука, 1972. 227 с.

Орсов Д. А., Цыганков А. А. Минералого-геохимические особенности суль-фидного медно-никелевого оруденения в Чайском ультрабазит-базитовом плутоне (Северное Прибайкалье) // Геолого-генетические модели и локальное прогнозировани-е эндогенного оруденения в Забайкалье. Новосибирск, 1991. С. 20–31.

Трунева Ф. М и др. Некоторые особенности генезиса сульфидных медно-никелевых руд Чайского месторождения // Контактные процессы и оруденение в габбро-перидотитовых интрузиях. М.: Наука, 1978. С. 97–107.