

УДК 553.461

**Е.В. Кислов<sup>1,2</sup>, В.С. Каменецкий<sup>1</sup>, Е.А. Белоусова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ;

<sup>2</sup>Бурятский госуниверситет, г. Улан-Удэ;

<sup>3</sup>Macquarie University, Sydney, Australia

## ХРОМИТИТЫ ГЛАВНОГО САРАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ПЕРМСКИЙ КРАЙ: СОСТАВ И ГЕНЕЗИС

Изучен минеральный состав хромититов Центрального рудного тела Главного Сарановского месторождения. Развитие зерен хромита в интерстициях силикатов; постоянство его состава, идиоморфизм; повышенная хромистость мелких и периферии крупных зерен хромита; отсутствие коррозии, замещения хроммагнетитом или хлоритом; ксеноморфный высокохромистый хромит; ассоциация с хромсодержащими минералами и минералами гидротермального происхождения; совместный рост хромита с уваровитом; преобладание во включениях в хромите минералов с Na и H<sub>2</sub>O; включения идиоморфных зерен и лейст хлорита, кристаллов массивкота; включение лаурита с кристаллографически ограниченным включением халькозина, хромит в скарне по диабазам свидетельствуют о том, что хромит не был источником хрома для других минералов, а формировался совместно с гидротермальными минералами в ходе единого процесса. Свидетельствует об этом и состав апатита: высокое содержание Y и отрицательная Eu аномалия.

*Ключевые слова:* хромититы, Сарановское месторождение, минеральный состав.

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2021.95**

Сарановские месторождения хромита открыты и начали эксплуатироваться в начале XIX в. Наибольший вклад в их изучение внес О.К. Иванов, издавший обзорную монографию [3] и две книги об их минералогии [4, 5].

Главное Сарановское месторождение приурочено к Северному Сарановскому массиву. Он находится в 5 км севернее ст. Лаки, на окраине п. Сараны Горнозаводского района Пермского края. Выход массива на поверхность имеет размеры 1,9×0,42 км, меридиональное простирание, сложен серпентинитами, хромититами, апогаббровыми породами и секущими их диабазовыми дайками [3].

Формирование массивов и хромититов остаются предметом дискуссий. О.К. Иванов [3] считал массивы расслоенными, а хромититы пластовыми. Но первые исследователи рассматривали хромититы как

жилы. А.Ф. Шуппе считал их серией сближенных линз. С.А. Вахромеев показал, что руды слагают три субпараллельных жилоподобных тела. И.А. Зимин, отмечая выдержанную мощность рудных тел, писал, что «форма рудных тел жилообразна и подобна настоящим жилам» [3]. Г.И. Кизиллов указывал, что структура месторождения не соответствует стратиформному строению: с глубиной количество рудных тел не увеличивается [6]; рудные блоки не совмещаются из-за разницы мощностей тел на их стыках; сместитель, нарушив целостность одного хромитового тела, упирается в другое; рудные тела залегают по пересекающимся направлениям [7].

Нами изучен минеральный состав хромитов Центрального рудного тела Главного Сарановского месторождения. Образцы отобраны на рудном отвале в августе 2017 г. Плоскополированные шлифы на эпоксидной смоле проанализированы растровым электронным микроскопом Hitachi SU-70 в Университете Тасмании, Хобарт, Австралия, и на электронном сканирующем микроскопе LEO 1430VP (Carl Zeiss, Германия) с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 (Oxford Instruments Analytical Ltd.) в ГИН СО РАН, Улан-Удэ. LAM-ICPMS U-Pb и микроэлементный анализы апатита в образце S4-17 проводился на квадрупольном приборе ICP-MS Agilent 7700, присоединенном к лазерной системе Photon Machines Excimer 193 нм в Университете Маккуори, Сидней, Австралия по методике [13], а также в Университете Тасмании, Хобарт, Австралия.

Хромит образует идиоморфные однородные зерна разного размера. Характерны как массивные агрегаты, так и интерстициальные кластеры, кольца зерен вокруг агрегатов хлорита, имеющих формы идиоморфных кристаллов. Хромит исключительно однороден, иногда наблюдается незначительное (не более 2 процентных пунктов) увеличение содержания  $Fe \pm Cr$  в мелких зернах, а в крупных - к периферии. Изредка содержание Fe повышается вплоть до хроммагнетита по трещинам. Встречаются сростки хромита и уваровита, образующие единые зерна, иногда с оторочкой высокохромистого хромита (рис. 1). Отмечен ксеноморфный хромит, зажатый идиоморфными зернами хлорита, в сферическом агрегате высокохромистого хромита (рис. 2). Как правило, хромит не корродированный, замещение периферии хроммагнетитом или хлоритом не наблюдается.

Интерстиции зерен хромита и вышеупомянутые агрегаты слагаются в основном хлоритом (в том числе хромсодержащим), доломитом (с Fe, Mn, Sr), серпентином (с Al и Cr). В ассоциации с уваровитом или кальцитом отмечается ксеноморфный хромит с содержанием  $Cr_2O_3$  до

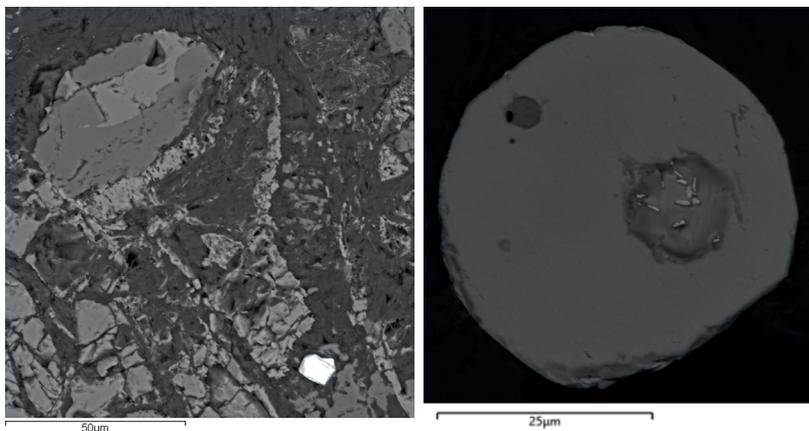


Рис. 1. Зерно-сросток хромита (серый) и уваровита (темно-серый) с оторочкой высокохромистого хромита (светло-серый) в агрегате хромита и хлорита, зерно лаурифта (белый). Образец S 12-17.

Рис. 2. Ксеноморфный хромит, зажатый идиоморфными зернами хлорита, в сферическом агрегате высокохромистого хромита, в крупном зерне внешние части высокохромистый хромит, в интерстициях хлорит. Образец S 12-17.

65 % и FeO до 22 %. Встречаются рутил (с Cr и V), ильменит (с Cr, Mg, Mn, включениями хлорита, сростанием с цирконом), бадделит (с Ti), цирконолит, магнетит (с Al, Cr и Mg), массикот. Отмечен сильвин с примесью Fe и Na. Наиболее распространенный сульфид миллерит (замещение фалкондоитом), встречаются пентландит (с Co до 11%), пирит (с Co и Ni, замещение гетитом), пирротин (с Ni), халькопирит, полидимит с Co, лаурит, эрлихманит и ирарсит (с Cu, Rh и Sb), виоларит, годлевскит. В сульфидах включения идиоморфного хлорита, округлые – доломита и кальцита, в миллерите отмечено включения хромита и холингворита. Встречаются кальцит (с Mg) и магнезит (с Fe). Апатит (иногда со Sr), хлорапатит (иногда со Sr) и сульфатапатит, в апатите включения ильменита, халькопирита, пирротина, монацита (с Nb), торьянита (с U и Zr), отмечены футлярные кристаллы. Барит содержит Fe и Sr. Силикаты представлены уваровитом (с включениями лейст и радиально-лучистых агрегатов хлорита), флогопитом (с Ti и Cr), цирконом (с Hf), титанитом (с Cr и V), фалкондоитом, карпинскиитом.

Идиоморфные включения в хромите (наиболее крупные с апофизами) сложены хлоритом (с Cr), доломитом, кальцитом (с Mg и Mn), энстатитом, эденитом (с Cr), рихтеритом, керсутитом, антофиллитом, гастингситом, аспидолитом (с Cr и Ti), флогопитом, вонезитом, серпентинном, хромовым глаголевитом, альбитом, тальком, ильменитом (с Cr

и Mn), рутилом (с Cr и V), апатитом, хлорапатитом (со Sr), халькозином, халькопиритом, талнахитом, борнитом, марганцевым сфалеритом, хроммагнетитом. Самостоятельные идиоморфные включения образуют высокохромистый хромит (иногда радиально-лучистые сростки), иридосмин - сысертскит (с Ru, иногда с оторочкой амфибола), лаурит, рутил (с Cr), идиоморфные зерна и лейсты хлорита, массивот, зачастую с геометрически правильными очертаниями, образующий также сростки с хромитом. Отмечено зерно Os лаурита с ограненным включением халькозина, округлым включением Ig эрлихманита с зернами Os лаурита, оторочкой Ig эрлихманита (рис. 3).

Трещины в хромите выполняют хлорит (с Cr), кальцит (с Mg), доломит (с Fe и Mn), серпентин, циркон, сильвин (с Fe и Na), уваровит, лаурит, ильменит (с Cr, Mn и Mg), галенит. Отмечено зерно рутила, секущееся перпендикулярными ламелями ильменита, обрастающее ильменитом и срастающееся с хромитом.

Состав вкрапленного хромитита оказался несколько иным: хромит (иногда с включениями хлорита и кальцита), хлорит (с Cr), кальцит (с Mg и Fe), тремолит (с Cr) и антофиллит, титанит, годлевскит, миллерит, пентландит (до 5,6% Co), пирит (с Ni и Co), галенит, ильменит (с Cr, Mn и Mg), серпентин, апатит (со Sr), сульфаты Ni. Агрегаты сульфидов секутся идиоморфными лейстами хлорита.

Интересен светлоокрашенный скарн, скорее всего, по диабазу. В нем преобладает пренит наряду с диопсидом (с включениями циркона), хлоритом, цоизитом и актинолитом. Зерна хромита с Zn, маухерита с Co, никелина с Co и Sb обрастают кристаллами хромгроссуляра переменчивого состава с включениями хлорита. Иногда хромит образует кольца внутри агрегата хромгроссуляра. Оторочка хромита содержит больше Cr, Fe и Zn, характерны включения хромгроссуляра и хлорита.

Выполнено 124 анализа микроэлементов в 21 зерне апатита. Относительное содержание микроэлементов, состав РЗЭ и распределение других элементов (Y, Sr, U, Th) очень схожи с таковыми в апатите из гранитов (медианное содержание Sr 1805 ppm против 1079 ppm в типичных гранитных апатитах, Sr – 220 ppm против 135 ppm, U - 6,6 ppm против 20 ppm, Th – 38 ppm против 46 ppm). Содержание РЗЭ колеблется от 7440 до 11840 ppm и вместе с отношениями Ce / Yb и отрицательными Eu аномалиями сопоставимы с характеристиками апатита фракционированных расплавов. Предварительно возраст оценен в 1,2 млрд. лет.

По геологическим данным, формирование сарановского

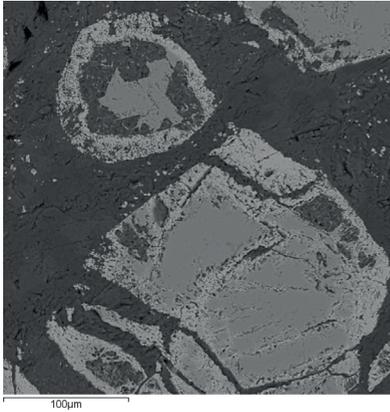


Рис. 3. Включение в хромите Os лаурита с оторочкой Ir эрлихманита, в правом верхнем углу включение халькозина, в левом нижнем - Ir эрлихманита с зернами Os лаурита. Образец S 8-17.

комплекса происходило в конце позднего рифея [2]. Ранее была сделана только одна попытка определения возраста по цирконам из аподунитовых серпентинитов: для Северного массива получены результаты  $464,1 \pm 5,1$  и  $439 \pm 3,1$  млн. лет, для Южного -  $1756 \pm 12$

млн. лет [8]. Исследования в этом направлении необходимо продолжить.

О.К. Иванов [3] связывал формирование гидротермальной минерализации с внедрением даек долеритов и метаморфизмом ультрамафитов: прогретые поровые воды как агент антигоритизации ультрамафитов, хлоритизации цемента хромититов, формирования карбонатных и карбонатно-силикатных жил с хромовой минерализацией. Но в последствии были показаны высокая температура и ювенильный источник гидротермальных карбонатов. Их кристаллизация в хромититах началась при температуре выше  $540^\circ\text{C}$  [10]. В образовании кальцита существенную роль играл ювенильный  $\text{CO}_2$ ; состав кальцита  $\delta^{18}\text{O} = 12,2\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C} = -1,8\text{‰}$  [11]. При этом очевидно, что карбонаты формировались на завершении гидротермального процесса, ранее температуры были еще выше.

Соотношение размеров тел хромититов и вмещающих интрузивов необычно высокое. При ширине массивов 200-300 м мощность наиболее крупного пласта из десятков тел хромититов достигает 12 м [3]. Необычно широкое развитие крупнозернистых ультрамафитов (пегматитов по [3]), сарановитов (крупных идиоморфных кристаллов хромита в серпентиновом цементе), метасоматической хромитовой вкрапленности, лабрадор-диопсидовых, хлоритовых и пумпеллиитовых пород, включений и жилок хромита в ультрамафических пегматитах, диабазах и порфиритах [3].

При изучении Центрального рудного тела установлено, что от подошвы к кровле содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  снижается от 46,63 до 44,26% [9], то есть в пределах колебаний одного зерна и одного шлифа. Обогащенность платиновыми элементами иридиевой группы и наличие сульфидов Os и Ir отличает Сарановское месторождение

от других расслоенных комплексов. Симметричная зональность в распределении лауритов по разрезу (высокорутениевые в западном и восточном, высокоосмиевые в центральном рудном теле) не согласуется с магматической дифференциацией [1].

Эти особенности можно объяснить гидротермальным происхождением хромититов. В отработанном карьере на Главном Сарановском месторождении выделяется выбранная трубообразная жила хромитита (рис. 4). В шахте «Рудная» наблюдаются апофизы жил хромититов во вмещающие породы (рис. 5). Развитие зерен хромита в интерстициях крупных выделений силикатов; постоянство состава хромита; его идиоморфизм; повышенная хромистость мелких и периферии крупных зерен хромита; отсутствие коррозии, замещения хроммагнетитом или хлоритом; появление в интерстициях ксеноморфного высокохромистого хромита; ассоциация с хромсодержащими минералами и минералами гидротермального происхождения; совместный рост хромита с уваровитом; преобладание во включениях в хромите минералов, содержащих Na и H<sub>2</sub>O; включения идиоморфных зерен и лейст хлорита, кристаллов массикота; включение лаурита с кристаллографически ограниченным включением халькозина, хромит в скарне по диабазам свидетельствуют о том, что хромит не был источником хрома для других минералов, а формировался совместно с гидротермальными минералами в ходе единого процесса.

Свидетельствует об этом и состав апатита. Апатиты из мантийных пород и карбонатитов лишены Eu аномалий, в то время как амплитуда Eu аномалий в апатитах увеличивается в сторону более фракционированных пород [13]. Eu аномалия может объясняться и серпентинизацией на предрудном этапе, поскольку Eu выносится при серпентинизации [12].

Содержание Sr может достигать процентных уровней в апатитах из основных и ультраосновных пород, в сторону кислых типов пород происходит снижение содержания Sr в апатите [13], что отражает вхождение Sr в плагиоклаз. Содержание Y в апатитах обычно составляет менее 2000 ppm до нескольких сотен ppm в зернах из основных и ультраосновных пород, но гораздо выше (более 1%) в апатитах из сильно фракционированных гранитов и пегматитов [13]. Содержание Y в сарановском апатите относительно высокое и колеблется от 1400 до 2500 ppm. Поскольку в районе Сарановских месторождений нет кислых или даже средних пород, остается считать геохимические характеристики апатита доказательством его гидротермального происхождения.

Таким образом, хромититы Главного Сарановского месторождения имеют гидротермальное происхождение.



Рис. 4. Выбранная трубообразная жила хромитита в отработанном карьере на Главном Сарановском месторождении.



Рис. 5. Апофизы жилы хромитита в рудовмещающие породы.

*Авторы признательны Э.М. Спиридонову и Г.С. Николаеву за организацию поездки на месторождение. Работа выполнена по госзадачу ГИН СО РАН № АААА-А17-117011650012-7 при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-05-00337. Используются возможности Аналитического центра минералогических, геохимических и изотопных исследований ГИН СО РАН.*

#### *Библиографический список*

1. Горбунов А.А., Пузик А.Ю. Сульфиды платиновых металлов Сарановского месторождения // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16. Пермь: ГИ УрО РАН, 2018. С. 15-20.
2. Ибламинов Р.Г., Суслов С.Б. Сарановский комплекс: региональное положение, палеотектоника // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2015. № 18. С. 145-153.
3. Иванов О.К. Расслоенные хромитоносные ультрамафиты Урала. М.: Наука, 1990. 243 с.
4. Иванов О.К. Минеральные ассоциации Сарановского хромитового месторождения (Урал). Уральская летняя минералогическая школа–97. Екатеринбург: УГГА, 1997. 123 с.
5. Иванов О.К. Минералогия Сарановского хромитового месторождения, Урал // Минералогический альманах. Т. 21, вып. 2. М.: «Минералогический альманах», 2016. 128 с.
6. Кизилов Г.И. Структура и перспективная рудоносность месторождений хромитов Сарановской группы // Разведка и охрана недр. 1986. № 7. С. 11-15.
7. Кизилов Г.И. Квазистратиформное строение Сарановского хромитового месторождения // Докл. АН СССР. 1987. Т. 296, № 3. С. 682-684.
8. Краснобаев А.А., Русин А.И., Бушарина С.В., Антонов А.В. Цирконология дунитов Сарановского хромитоносного ультрамафитового комплекса (Средний Урал) // Доклады Академии наук. 2013. Т. 451, № 1. С. 81–86.
9. Пузик А.Ю., Ибламинов Р.Г., Осовецкий Б.М. Хромшпинели Центрального

рудного тела Главного Сарановского месторождения // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 20. Пермь, 2017. С. 35-43.

10. Шагалов Е.С. Термометрия и геохимия карбонатных жил Сарановского месторождения // Минералы: строение, свойства, методы исследования: материалы конференции. № 2. Екатеринбург, 2010. С. 360-362.

11. Чайковский И.И., Корицунов А.А. Новые находки редкоземельных и благороднометаллических минералов на Сарановском месторождении // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 17. Пермь, 2014. С. 37-44.

12. Чащухин И.С., Чередниченко Н.В., Адамович Н.Н. О поведении редких элементов при ранней серпентинизации ультрамафитов // Ежегодник-2011. Тр. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. Вып. 159. С. 125-128.

13. Belousova E.A., Walters S., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Fisher N.I. Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: trace-element compositions and their relationship to host rock type // Journal of Geochemical Exploration. 2002. V. 76. P. 45-69.

## CHROMITITES OF THE MAIN SARANOVSKOYE FIELD, PERM TERRITORY: COMPOSITION AND GENESIS

**E.V. Kislov, V.S. Kamenetsky, E.A. Belousova**

*evg-kislov@ya.ru*

The chromitites mineral composition from the Central ore body of the Main Saranovskoye deposit has been studied. Development of chromite grains in silicate interstices; constancy of its composition, idiomorphism; increased chromium content of small and periphery of large chromite grains; absence of corrosion, substitution with chrome magnetite or chlorite; xenomorphic high chromium chromite; association with chromium-containing minerals and minerals of hydrothermal origin; joint growth of chromite with uvarovite; predominance of minerals with Na and H<sub>2</sub>O in inclusions in chromite; inclusions of idiomorphic grains and chlorite laths, massicot crystals; the inclusion of laurite with a crystallographically faceted inclusion of chalcocite, chromite in the diabase skarn indicates that chromite was not a source of chromium for other minerals, but was formed together with hydrothermal minerals in the course of a single process. This is also evidenced by the composition of apatite: a high Y content and a negative Eu anomaly.

*Keywords: chromitites, Saranovskoye deposit, mineral composition*