

речь. Листы N-50-3-Г и 4-П // Отчет Лево-Витимской партии о результатах поисково-съёмочных работ масштаба 1:50 000 за 1963–64 гг. БГУ, Улан-Удэ, 1965ф.

*Прудовский Э. Л., Грудинин М. И.* Особенности геологического строения и вещественного состава дунит-троктолитового массива Маринкин (Средне-Витимская горная страна) // Геологические формации Прибайкалья и Забайкалья. Чита, 1972. С. 13–14.

*Рыцк Е. Ю., Амелин Ю. В., Ризванова Н. Г., Крымский Р. Ш., Митрофанов Г. Л., Митрофанова Н. Н., Переляев В. И., Шалаев В. С.* Возраст пород Байкало-Муйского складчатого пояса // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2001. Т. 9. № 4. С. 3–15.

*Цыганков А. А.* Магматическая эволюция Байкало-Муйского вулканоплутонического пояса в позднем докембрии. Новосибирск: СО РАН, 2005. 306 с.

*Kislov E. V., Malyshev A. V., Orsoev D. A.* Marinkin massif – platinum metals-nickel-copper locality at Middle Vitim mountain region, East Siberia // Northwestern Geology. 2009. Vol. 42. P. 185–188.

***И. Ф. Чайка<sup>1,2</sup>, А. Э. Изох<sup>1,2</sup>, В. С. Каменецкий<sup>3</sup>,  
Л. М. Житова<sup>1,2</sup>, Т. Ю. Якич<sup>4</sup>***

<sup>1</sup> – *Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск  
ivanlab211@gmail.com*

<sup>2</sup> – *Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск*

<sup>3</sup> – *Университет Тасмании, г. Хобарт*

<sup>4</sup> – *Томский политехнический университет, г. Томск*

## **Хромшпинелиды платиноносных пород верхнего эндоконтакта интрузии Норильск-1: состав, силикатные включения и вопросы генезиса**

Платиноносные рифы с большим количеством хромита и низким содержанием сульфидов известны в ряде расслоенных комплексов, наиболее известными из которых являются Бушвельд и Стиллуотер – крупнейшие в мире месторождения платиноидов. Подобные образования наблюдаются в верхних частях интрузий Норильского типа, где они характеризуются высокими (до 70 г/т) содержаниями элементов платиновой группы (ЭПГ). В ходе исследования интрузий Норильского района эти структуры были обнаружены в их верхних частях и охарактеризованы как отдельный «малосульфидный тип» руд ЭПГ [Служеникин и др., 1994; Ryabov et al., 2014; Служеникин и др., 2016]. На сегодняшний день проблема генезиса малосульфидных рифов является дискуссионной. Для рифов Бушвельда, Стиллуотера и Великой Дайки эффективным оказался подход, опирающийся на исследование хромшпинелидов (CrSp) и включений в них [Li et al., 2005; Spandler et al., 2005]. В данной работе рассматриваются CrSp и силикатные включения в них из платиноносных такситовых габброидов верхней эндоконтактной зоны (ВЭЗ) интрузии Норильск-1. Образцы были отобраны Л. М. Житовой, А. Я. Шевко и М. П. Гора в карьере месторождения Медвежий Ручей. Фазовый состав включений определялся с использованием электронно-сканирующей микроскопии (Tescan Vega-3, Tescan Mira). Данные по составу CrSp и других минеральных фаз получены с помощью электронно-зондового микроанализа (EPMA) на анализаторе JEOL JXA-8320 в лаборатории рентгеноспектральных методов ИГМ СО РАН (аналитики Е. Н. Нигматуллина и В. А. Даниловская).

В структуре интрузий норильского типа ВЭЗ представлена горизонтами контактовых габбродолеритов, лейкогаббро и гибридно-метасоматическими породами. В экзоконтакте интрузий описаны высокохромистые контактовые породы и скарны [Рябов и др., 1996]. Такситовые габброиды с малосульфидным оруденением проявлены в центральной и нижних частях ВЭЗ. Они характеризуются крупнозернистой структурой и крайне неоднородной текстурой. В работе рассматривается образец такситового габброида с высоким содержанием минералов ЭПГ (MP-14), а также три образца оливиновых и троктолитовых габбро-долеритов с различной степенью текстурной неоднородности и переменным содержанием минералов ЭПГ (MP-20, MP-30, MP-31). Породообразующие силикаты – плагиоклаз (далее Pl), клинопироксен (Срх) и оливин (Ol), второстепенные нерудные минералы – титанистый биотит, апатит (Ap), ортопироксен (Орх). Породы интенсивно изменены: Pl замещается мусковитом, эпидотом, альбитом, Срх – биотитом и волокнистым амфиболом, Ol – минералами группы иддингсита/боулингита.

Идиоморфные и гипидиоморфные CrSp размером менее 100 мкм в изученных породах формируют сегрегации или густую вкрапленность (до 60%) практически во всех силикатах, за исключением отдельных агрегатов альбита и мусковита, являющихся, возможно, полными псевдоморфозами по крупным кристаллам Pl. CrSp также ассоциирует с амфиболом, хлоритом и пренитом [Служеникин и др., 2016]. К скоплениям CrSp приурочена бедная вкрапленность пентландита, халькопирита и пирротина, разнообразные сульфиды, арсениды, теллуриды, станниды и висмутиды ЭПГ и Fe-Pt сплавы.

Состав CrSp характеризуется широкими вариациями. Магнезиальность ( $Mg\# = Mg/(Mg+Fe)$ ) изменяется от 2 до 50, содержание  $Cr_2O_3$  – от 10 до 40 мас. %, при этом образуются различные тренды для разных изученных образцов (рис. а). Содержания  $Al_2O_3$  обнаруживают положительную корреляцию с  $Mg\#$ , NiO и  $TiO_2$  – отрицательную корреляцию с  $Mg\#$ . Отмечаются необычно широкие вариации содержаний  $Al_2O_3$  и  $TiO_2$  (3–24 и 2–17 мас. %, соответственно) (рис. б). Часто проявлено «пятнистое» распределение CrSp: наиболее железистые и титанистые из них приурочены к минералам с сильными вторичными изменениями, тогда как наиболее магнезиальные – к относительно свежим минералам. Наблюдается изменчивость морфологии CrSp в зависимости от состава. Наиболее магнезиальные CrSp образуют скопления одиночных зерен, как правило идиоморфных с округлыми очертаниями. Наименее магнезиальные CrSp представлены более крупными зернами с прямолинейными очертаниями, сросшимися в гипидиоморфнозернистые агрегаты и цепочки, часто находясь в ассоциации с ксеноморфным ильменитом. Учитывая эти черты пространственного распределения и морфологии CrSp, а также возможность переноса  $Cr^{3+}$  во флюидной фазе, можно предположить, что высоко-Ti низко-Mg CrSp сформировались в результате процессов метаморфизма и перекристаллизации. Следует отметить, что МПГ чаще всего ассоциируют с низкомагнезиальными хромшпинелидами. Существенной особенностью состава CrSp рассмотренных пород является их сильное «расхождение» по содержанию  $Fe^{3+}$ . В CrSp из различных образцов содержание  $Fe^{3+}$  может отличаться более, чем в три раза, при этом в каждом образце отношение  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в хромшпинелидах образует отчетливые тренды (рис. в). Эта особенность указывает на существенные вариации окислительно-восстановительных параметров при формировании CrSp.

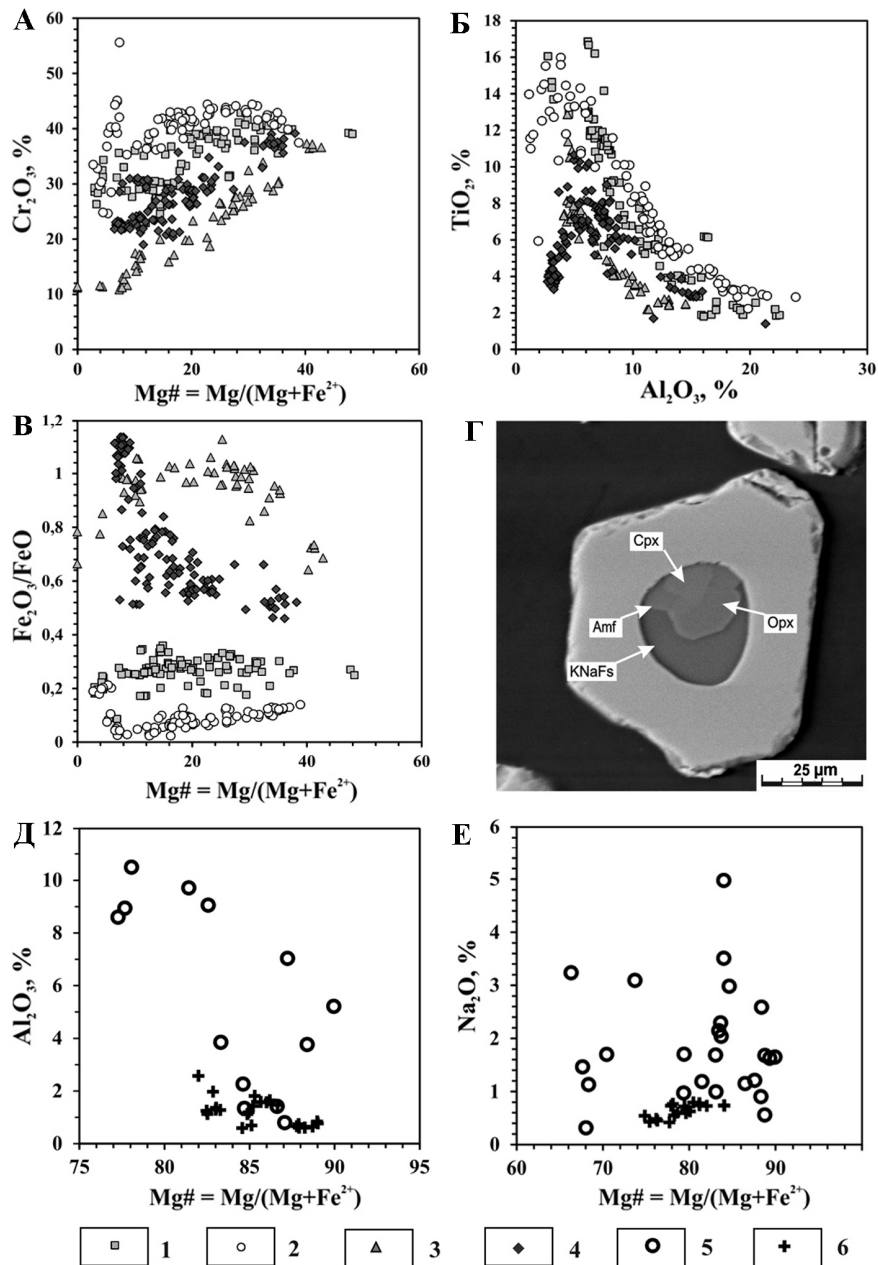


Рис. Характеристики хромшпинелидов и силикатных включений в них из изученных образцов пород верхнего эндоконтакта интрузии Норильск-1: а–в) вариации состава CrSp в различных образцах пород: (1 – МР-14, 2 – МР-30, 3 – МР-20, 4 – МР-31); г) BSE-фото зерна CrSp с силикатным включением (Cpx – клинопироксен, Орх – ортопироксен, Amf – амфибол, KNaFs – щелочной полевой шпат); д, е) вариации состава клинопироксена (Д) и флогопита (Е) из включений в хромшпинелидах (5) и вмещающих пород (6), образец МР-14.

Включения в CrSp близки по фазовому составу во всех образцах. В CrSp из наиболее неоднородных пород с высоким содержанием МПГ (обр. МР-14) наблюдались многочисленные сравнительно крупные (до ½ объема зерна) округлые включения (рис. г). В составе включений резко преобладают Орх и щелочные полевые шпаты (Fsp) и часто обнаруживаются Crx, Na-содержащий флогопит (Na-Phl), Na-Ca и Ca амфиболы. В качестве аксессуарных и рудных фаз встречаются Ap (часто), бадделейт (часто), цирконолит, халькопирит, пирротин. Больше половины включений сложено хлоритом, в некоторых многофазных включениях прослеживается замещение Орх, Crx и амфибола хлоритом. Встречаются включения, полностью сложенные халькопиритом и/или пирротином и небольшим количеством пентландита.

Орх в многофазовых включениях идиоморфен по отношению к другим фазам. Значение Mg# составляет 72–85, содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.3–4 %, TiO<sub>2</sub> – 0.1–0.7 %. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> увеличивается к более магнезиальным миналам, а содержание TiO<sub>2</sub> обнаруживает слабую обратную корреляцию с Mg#. Примечательно крайне низкое (до полного отсутствия) содержание Орх во вмещающих хромшпинелиды породах, тогда как в изученных включениях этот минерал наиболее распространен. Редкие кристаллы Орх в породах ВЭЗ характеризуются более узким диапазоном магнезиальности (Mg# 74–76) [Служеникин и др., 1994]. Crx в многофазных включениях также часто имеет кристаллические или субизометричные очертания, по составу отвечает высокоглиноземистому (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 11 %) авгиту с содержанием диопсидового минала 76–88 %. Высокое содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> отличает Crx из включений от Crx из вмещающих такситовых габброидов (рис. д).

Минералы группы слюд из включений представлены высокотитанистым Na-Phl (Mg# 66–90, содержание Na<sub>2</sub>O до 5 мас. %). Концентрации TiO<sub>2</sub> варьируют от 5.9 до 9.3 %, попадая в диапазон содержаний TiO<sub>2</sub> в Phl из вмещающих пород (5.3–8.3 %). Phl включений резко отличаются от Phl вмещающей породы высоким содержанием Na<sub>2</sub>O, которое для последнего не превышает 0.8 % (рис. е). Fsp из включений характеризуется широким диапазоном составов от Ab до An со значительной частью ряда калинатровых составов. Щелочность Fsp из включений отличает их от Fsp вмещающих пород, состав которых образует узкие области An<sub>70–80</sub> и An<sub>0–10</sub>.

Прогреты до 1250 °С и закаленные включения состоят из стекла и ОI в различных пропорциях. В отдельных случаях отмечается Орх «оплавленной» морфологии, сульфидные глобулы, кристаллы CrSp. Закалочные стекла характеризуются широкими вариациями состава (мас. %: 34–63 SiO<sub>2</sub>, 1–12 MgO, 2–6 (редко до 12) K<sub>2</sub>O, 1–7 Na<sub>2</sub>O), крайне высокими содержаниями FeO (7–28) и низкими – CaO (1–5, реже до 7). Парные корреляции, характерные для процессов дифференциации, не обнаружены, а линейные тренды в парах Si-Fe, Al-Fe, Al-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) объясняются различными пропорциями в содержании темноцветных минералов и щелочных полевых шпатов во включениях.

Таким образом, данные по составу CrSp и включений в них из ЭПГ-содержащих такситовых габброидов ВЭЗ интрузии Норильск-1 позволяют сформулировать следующие выводы. Широкий диапазон составов, аномально низкое содержание Ca и отсутствие трендов магматической дифференциации в составах экспериментально полученных стекол изученных включений указывает на гетерогенный характер захвата минеральных фаз во включениях в ходе кристаллизации CrSp изученных

пород. Преобладание Орх и щелочных Fsp (ассоциация высокотемпературных роговиков) в составе включений, а также высоко-Na Phl (вплоть до аспидолита) ставят под вопрос магматическое происхождение рассмотренных CrSp и могут указывать на ключевую роль контактово-метаморфических и метасоматических процессов в их формировании. Это предположение подтверждается широким развитием энстатитсодержащих контактовых пород в ореоле норильских интрузий а также наличием CrSp-содержащих метасоматитов, обнаруженных в контактовых зонах Талнахской интрузии [Рябов и др., 1996; Туровцев, 2002].

Важной особенностью является отличие минерального состава пород и изученных включений. Хотя известны механизмы образования Орх и Phl из Ol при перитектических реакциях в закрытой системе, в нашем случае гетерофазный характер захвата включений исключает такой сценарий. Вероятно, CrSp был привнесен в породы извне. Широкие вариации состава CrSp, структуры перекристаллизации у наименее магнезиальных из них и их пространственная приуроченность к минералам с наиболее выраженными признаками низкотемпературного изменения могут объясняться образованием и перекристаллизацией CrSp в ходе гидротермальных и метасоматических процессов. Приуроченность МПГ к низкомагнезиальным CrSp и их ассоциация с хлоритом и другими низкотемпературными минералами свидетельствует о гидротермально-метасоматическом происхождении большинства МПГ в изученных образцах пород.

*Исследование частично поддержано РФФИ (проект № 16-05-00945а) и государственным заданием № 0330-2016-0001.*

## Литература

Рябов В. В., Шевко А. Я., Симонов О. Н., Аношин Г. Н. Состав платиноносных высокохромистых скарнов Талнаха (Норильский район) // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 7. С. 60–75.

Служеникин С. Ф., Дистлер В. В., Григорьева А. В., Малосульфидные платиновые руды Норильского района – перспективные источники благородных металлов // Арктика: экология и экономика. 2016. № 4 (24). С. 32–45.

Служеникин С. Ф., Дистлер В. В., Дюжиков О. А., Кравцов В. Ф., Кунилов В. Е., Лапутина И. П., Туровцев Д. М. Малосульфидное вкрапленное оруденение в норильских дифференцированных интрузивах // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. № 3. С. 195–217.

Туровцев Д. М. Контактный метаморфизм норильских интрузий. М.: Научный мир, 2002. 319 с.

Li C., Ripley E. M., Sarkar A., Shin D., Maier W. D. Origin of phlogopite-orthopyroxene inclusions in chromites from the Merensky Reef of the Bushveld Complex, South Africa // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2005. Vol. 150. P. 119–130.

Ryabov V. V., Shevko A. Ya., Gora M. P. Trap magmatism and ore formation in the Siberian Noril'sk region. Vol. 1. Trap petrology. Series: Modern Approaches in Solid Earth Sciences. Springer, 2014. 390 p.

Spandler C., Mavrogenes J., Arculus R., Origin of chromitites in layered intrusions: Evidence from chromite-hosted melt inclusions from the Stillwater Complex // Geology. 2005. Vol. 33. № 11. P. 893–896.