

**С.Ю. Степанов<sup>1</sup>, Р.С. Паламарчук<sup>2</sup>, В.В. Шиловских<sup>3</sup>, С.В. Петров<sup>3</sup>, А.В. Козлов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург  
stepanov-1@yandex.ru*

<sup>2</sup> – *Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup> – *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

## **Типы хромит-платиновых агрегатов коренных месторождений в клинопироксенит-дунитовых массивах Урала и связанных с ними россыпях**

Одной из уникальных особенностей россыпных месторождений платины, связанных с зональными клинопироксенит-дунитовыми массивами Платиноносного пояса Урала, является широкое распространение в ложковых и делювиальных россыпях крупных самородков платины. Самый крупный самородок, обнаруженный в россыпи р. Большая Простокишенка, весил 7.86 кг, а один из самых крупных самородков, обнаруженных в россыпях, связанных с Нижнетагильским массивом, – 9.63 кг [Высоцкий, 1913]. В россыпях, связанных с эрозией пород массива Кондер, вес самого большого самородка платины составлял 3.5 кг [Сушкин, 1995]. Россыпные месторождения, связанные с массивами Инагли (Якутия) и Гальмознан (Корякия), характеризуются относительно небольшими самородками, хотя здесь обнаружено значительное количество самородков платины весом до 150 г [Округин, 2011]. Таким образом, распространение крупных самородков характерно для всех россыпей, связанных с разрушением зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Урало-Аляскинского типа.

В коренных рудах максимальный вес скопления минералов платиновой группы (МПГ) достигал 427 г. Этот самородок платины обнаружен в ходе геологоразведочных работ на рудную платину на Нижнетагильском массиве [Заварицкий, 1928]. Крупные скопления МПГ выявлены в хромититах Вересовоборского массива в ходе проведения геологоразведочных работ [Трушин и др., 2017]. Столь существенная разница в весе самородков в коренном залегании и россыпях, скорее всего, связана с отсутствием систематической добычи коренных платиновых руд.

Сложность исследования крупных обособлений МПГ состоит в отсутствии возможности изготавливать из них минераграфические и другие специальные препараты для изучения структурно-вещественных особенностей, но особенности сростания этих минералов можно изучить и проанализировать в микромасштабе. Изученные нами препараты представляли собой полированные шлифы и аншлифы, изготовленные из хромит-платиновых агрегатов размером в несколько миллиметров из россыпей и коренных хромититов. Для изучения препаратов использованы СЭМ в сочетании с рентгеноспектральным микроанализом, а также дифракция обратно-рассеянных электронов с помощью СЭМ Hitachi S-3400N с детектором дифракции обратно-рассеянных электронов Oxford NordLys Nano и ЭДС Oxford X-Max 20 (ресурсный центр «Геомодель» НП СПбГУ). В результате выявлены особенности химического состава минералов, слагающих хромит-платиновые агрегаты, а также охарактеризована их структура. Дополнительно изучены платиноносные хромититы из зональных клинопироксенит-дунитовых массивов с целью широкого охвата всех возможных пространственно-временных взаимоотношений МПГ и хромшпинелидов.

Всю совокупность взаимоотношений МПГ и хромшпинелидов можно подразделить на следующие группы: включения железо-платиновых интерметаллидов в кристаллах хромшпинелида, сростания МПГ с хромшпинелидами при подчиненном количестве железо-платиновых интерметаллидов, скопления МПГ при подчиненном количестве хромшпинелида (10–25 %), агрегаты железо-платиновых минералов с редкими включениями кристаллов хромшпинелида.

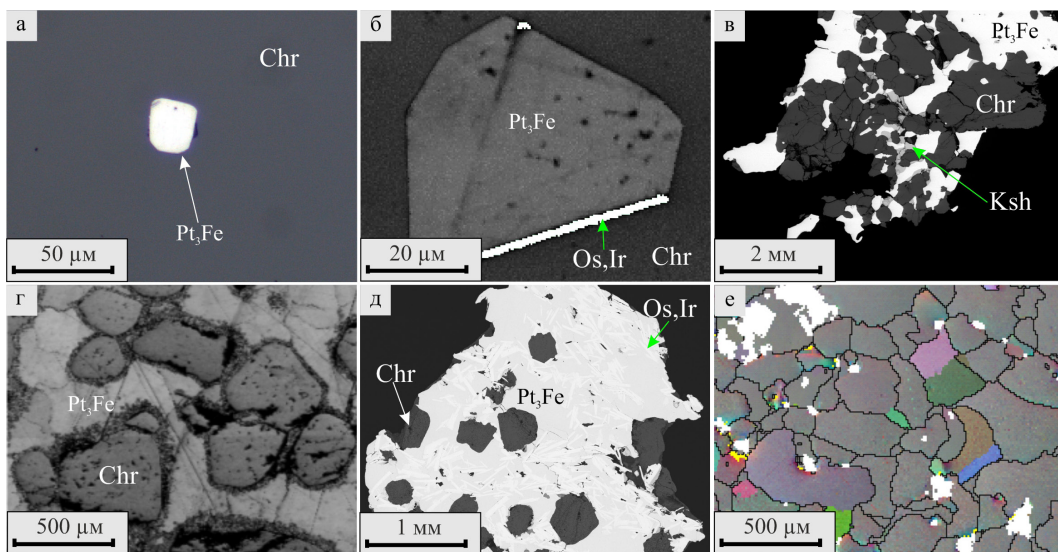


Рис. Примеры строения хромит-платиновых агрегатов из коренных минерализованных зон и россыпей Платиноносного пояса Урала.

Фото в отраженном свете (а) и в режиме отраженных электронов (в, д). Карты контраста полос (б, г) с использованием метода дифракции обратно-рассеянных электронов. Карта внутризеренных разориентировок (е). Места обора проб: а) хромититы Иовского массива, б) хромититы Нижнетагильского массива, в) ложковые россыпи Светлоборского массива, г) россыпь р. Протокишенка (Вересовоборский массив), д) россыпи, связанные с Сосновским массивом, е) элювиальные россыпи Светлоборского массива. Chr – хромшпинелид, Pt<sub>3</sub>Fe – изоферроплатина, Ksh – кашинит, Os,Ir – самородный осмий.

*Включения МПГ в хромшпинелидах.* В коренных минерализованных зонах дунитовых массивов включения МПГ в других минералах будут составлять не более 5 % от всего объема МПГ. В хромшпинелидах обнаружены включения Pt-Fe и Os-Ir интерметаллиды (рис. а). Иридий или самородный осмий обычно обнаруживаются в виде хорошо ограненных идиоморфных пластинчатых кристаллов. Pt-Fe интерметаллиды часто выполняют в хромшпинелидах полости в виде отрицательных кристаллов (рис. б). Средний размер зерен хромшпинелидов в рудах составляет 0.2 мм, а средний размер включений Pt-Fe интерметаллидов – 70–80 мкм. Обычно весь объем включения выполнен одним индивидом.

*Срастания железо-платиновых минералов с хромшпинелидами* распространены довольно широко. В виде таких срастаний сконцентрирован основной объем МПГ в хромититах и минерализованных зонах в дунитах зональных массивов Урала, составляя 70–85 % от общего объема МПГ. Срастания этого типа образуют основной объем шлиховой платины в россыпях. В количественном соотношении хромшпинелид обычно незначительно преобладает над МПГ в срастаниях (рис. в). В них индивиды изоферроплатины или железистой платины сопоставимы по размерам с хромшпинелидом (рис. г). Pt-Fe минералы и хромшпинелид срастаются, преимущественно, с образованием поверхностей совместного роста. Редко встречается железистая платина или изоферроплатина с проявлением собственного кристаллографического ограничения.

*Скопления МПГ при подчиненном количестве хромшпинелида.* Такие агрегаты распространены ограниченно, но вследствие относительно крупного размера на них приходится 10–20 % от общего объема МПГ в минерализованных зонах и хромититах. В этом типе агрегатов железо-платиновые минералы преобладают над хромшпинелидом (рис. д), который

равномерно распределен по всему объему хромит-платинового сростка в виде единичных кристаллов. Использование дифракции обратно-рассеянных электронов позволило определить, что изоферроплатина или железистая платина слагает изометричные зерна, по размеру сопоставимые с кристаллами хромшпинелида. Характер границ между зернами Pt-Fe минералов указывает на их срастание с образованием компромиссной поверхности совместного роста. Наблюдения в объеме границ между кристаллами хромшпинелида и МПП в агрегатах из россыпей выявили индукционные поверхности между индивидами этих минералов. Относительно редко в Pt-Fe матрице содержатся кристаллы хромшпинелида, в которых наблюдаются включения изоферроплатины или железистой платины, представляющие собой отрицательные кристаллы, выполненные одним индивидом.

*Железо-платиновые минералы с редкими включениями кристаллов хромшпинелида* редки. Такие агрегаты в коренном залегании не описаны. В россыпях редко встречаются крупные скопления Pt-Fe минералов весом в несколько десятков граммов, содержащие не более 5 % включений хромшпинелида [Высоцкий, 1913]. Pt-Fe агрегат обычно обладает равномерно-зернистой структурой (рис. е). Отдельные индивиды изоферроплатины или железистой платины характеризуются изометричным обликом. Характер границ между отдельными зернами Pt-Fe минералов позволяет сделать предположение об их срастании с образованием поверхностей совместного роста.

Описанные четыре варианта сонахождения Pt-Fe минералов и хромшпинелидов характерны практически для всех хромит-платиновых рудных минерализованных зон в дунитах зональных массивов, а также в россыпях, связанных с их разрушением. При этом в результате определения плотности самородков из россыпей массива Инагли установлено, что количество включений хромшпинелида в них колеблется от 20 до 70 об. % [Округин, 2011]. Изучение минераграфических препаратов, изготовленных из хромит-платиновых сегрегаций из коренных руд и россыпей Нижнетагильского, Вересовоборского, Гальмозанского и Кондерского массивов, подтверждают эту закономерность.

Широкая вариация строения хромит-платиновых агрегатов от единичных включений Pt-Fe интерметаллидов в хромшпинелиде до практически мономинеральных агрегатов железо-платиновых минералов косвенно указывает на формирование хромшпинелида и МПП в рамках единого процесса, что согласуется с ранее полученными результатами [Козлов и др., 2019]. Выявленные структурные особенности хромит-платиновых агрегатов позволяют сделать предположение о кристаллизации минералов в этих срастаниях из эвтектических жидкостей (расплавов). Аналогичное предположение сделано при изучении морфологических особенностей индивидов МПП из россыпей Южного Урала [Зайков и др., 2017]. Особенности ассоциации изоферроплатины или железистой платины и хромшпинелидов в хромит-платиновых минерализованных зонах клинопироксенит-дунитовых массивов Урала подтверждают генетическую модель формирования крупных агрегатов железо-платиновых минералов из не силикатных расплавов, предложенную А.В. Округиным [2011].

Проведенные исследования с использованием дифракции обратно рассеянных электронов позволили выявить структурные особенности хромит-платиновых агрегатов, которые по размерам соответствуют самородкам. Анализ характера взаимоотношений минералов платиновой группы, прежде всего Pt-Fe интерметаллидов, и хромшпинелидов позволил прийти к заключению об определяющей роли магматических процессов в формировании хромит-платиновых агрегатов. Этот вывод согласуется с результатами ранее проведенных исследований хромит-платинового оруденения и условий формирования ультраосновных пород в зональных клинопироксенит-дунитовых массивах, находящихся в структурах как складчатых [Johan, 2002; Толстых и др., 2011; Степанов и др., 2020], так и платформенных областей [Округин, 2004; Симонов и др., 2017].

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда проект № 20-77-00073.*

## Литература

- Высоцкий Н.К.* Месторождения платины Исковского и Нижне-Тагильского районов на Урале // Труды Геологического комитета. Нов. сер. № 62. СПб., 1913. 692 с.
- Заварицкий А.Н.* Коренные месторождения платины на Урале. Л.: Изд-во Геологического комитета, 1928. 56 с.
- Зайков В.В., Попов В.А., Зайкова Е.В., Блинов И.А., Котляров В.А.* Состав и форма кристаллов платиноидов из россыпей Южного Урала // Минералогия. 2017. Т. 3. № 4. С. 51–56.
- Козлов А.В., Степанов С.Ю., Паламарчук Р.С., Минабаев А.М.* Онтогенетические ориентиры для выбора модели формирования платинового оруденения в зональных клинопироксенит-дунитовых массивах Урала // Записки РМО. 2019. Т. 148. № 2. С. 115–130.
- Округин А.В.* Кристаллизационно-ликвационная модель формирования платиноидно-хромитовых руд в мафит-ультрамафитовых комплексах // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 2. С. 63–75.
- Округин А.В.* Образование крупных самородков платины в хромитовых рудах мафит-ультрамафитовых пород // Наука и образование. 2011. № 3. С. 16–20.
- Симонов В.А., Приходько В.С., Васильев Ю.Р., Котляров А.В.* Физико-химические условия кристаллизации пород ультраосновных массивов Сибирской платформы // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 6. С. 70–93.
- Степанов С.Ю., Паламарчук Р.С., Антонов А.В., Козлов А.В., Варламов Д.А., Ханин Д.А., Золотарев А.А.* Морфология, состав и онтогенез минералов платиновых металлов в хромититах зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 1. С. 60–83.
- Сушкин Л.Б.* Характерные черты самородных элементов месторождения Кондер // Тихоокеанская геология. 1995. № 5. С. 97–102.
- Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П.* Коренная платина Светлоборского и Каменушенского массивов Платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 6. С. 775–793.
- Трушин С.И., Осецкий А.И., Черепанов А.В., Корнеев А.В.* Поиски рудной платины на Урале с использованием скважин большого диаметра // Разведка и охрана недр. 2017. № 2. С. 40–42.
- Johan Z.* Alaskan-type complexes and their platinum-group element mineralization // The geology, geochemistry and mineral beneficiation of platinum-group elements (Cabri L.J. ed.). Special volume 54. Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum. 2002. P. 669–719.

***Р.С. Паламарчук<sup>1</sup>, С.Ю. Степанов<sup>1</sup>, Д.А. Варламов<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup> – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург  
palamarchuk22@yandex.ru*

*<sup>2</sup> – Институт экспериментальной минералогии, г. Черноголовка*

## **Ассоциации минералов платиновой группы зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Северного Урала**

Уральский Платиноносный пояс включает в себя ряд зональных клинопироксенит-дунитовых массивов, протянувшихся цепочкой вдоль Главного Уральского разлома [Иванов, 1997]. Они характеризуются присутствием платиноидной минерализации, чаще всего сопряженной с хромитовым оруденением. Масштабы развития коренного оруденения различны, однако абсолютно с каждым клинопироксенит-дунитовым массивом связаны платиновые россыпи, некоторые из которых не имеют аналогов в мире по объему извлеченных минералов платиновой группы (МПГ).