

*Л. С. Дремов<sup>1</sup>, С. Ю. Степанов<sup>1</sup>, Д. А. Ханин<sup>2,3</sup>, А. В. Кутырев<sup>3</sup>*  
*<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*  
*leooid@mail.ru*  
*<sup>2</sup> – Московский государственный университет, г. Москва*  
*<sup>3</sup> – Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,*  
*г. Петропавловск-Камчатский*

**Зависимость морфологии и химического состава хромшпинелидов  
платиновых россыпей различных генетических типов**  
(научный руководитель д.г.-м.н. А. В. Козлов)

Большинство платиновых россыпей Среднего и Северного Урала образовалось вследствие разрушения клинопироксенит-дунитовых массивов. Формирование практически всех платиновых россыпных объектов связано с эрозией хромит-платиновых зон [Волченко и др., 2007], что отчасти подтверждено изучением элювиально-делювиальных россыпей, перекрывающих эти зоны [Паламарчук и др., 2017]. Генетическая связь хромшпинелидов с минералами платиновой группы (МПГ) в хромититах обуславливает целесообразность комплексного изучения характера изменения хромшпинелидов и МПГ при процессах россыпеобразования. Если вопрос изменения морфологических особенностей и химического состава агрегатов и индивидов МПГ частично затрагивался [Palamarchuk, Stepanov, 2017], то аналогичные работы для хромшпинелидов ранее не проводились.

Цель исследования – выявление характера изменения морфологии и химического состава хромшпинелидов в зависимости от степени их удаления от коренного источника при образовании россыпных объектов. Для этого изучено 16 шлиховых проб из россыпей разных типов, связанных с клинопироксенит-дунитовыми массивами Среднего и Северного Урала. Пробы разделены на фракции по крупности, а затем по степени магнитности. Для некоторых индивидов хромшпинелидов детально описаны морфологические особенности с использованием растровой электронной микроскопии. Из каждой пробы отобрано 30–35 зерен хромшпинелидов для определения их химического состава методом рентгеноспектрального микроанализа с волнодисперсионными анализаторами (Camebax SX50, МГУ, аналитик Д. А. Ханин).

Для определения степени удаления зерен хромшпинелидов от коренных источников оценивалась их сохранность и характер поверхностей граней. В случае элювиально-делювиальных отложений изменение морфологии зерна и характера поверхностей его граней указывает на интенсивность гипергенных процессов при образовании кор выветривания и продолжительность эрозии. На основании изучения более 500 зерен выделены три типа (рис. 1): тип 1 – хорошо сохранившиеся зерна (>90 % граней с сильным алмазным блеском); тип 2 – собственные формы кристаллов частично сохранены, зерна обладают изометричным обликом (10–90 % граней со слабым металлическим блеском); тип 3 – собственные кристаллографические формы у индивидов хромшпинелида отсутствуют (<10 % от первичных поверхностей, матовый блеск зерен).

Все зерна хромшпинелида обладают октаэдрическим габитусом, в единичных случаях ребра усечены подчиненными гранями ромбододекаэдра. Большая часть индивидов хромшпинелида, исключая зерна Нижнетагильского массива, имеют сильно

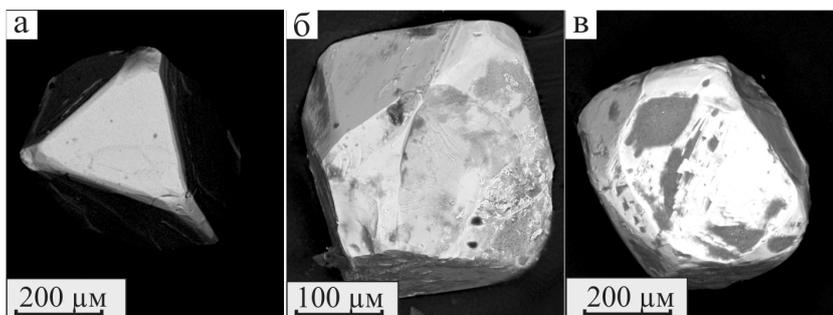


Рис. 1. Типы зерен хромшпинелидов: а) тип 1 с хорошо сохранившимися гранями октаэдра (элювиальная россыпь, Светлоборский массив); б) тип 2 с частично сколотыми и шероховатыми гранями (ложковая россыпь Нижнетагильский массив); в) тип 3, зерно с шероховатой поверхностью и несохранившимися реберными формами (аллювиальная россыпь, Каменушенский массив).

изъеденную шершавую поверхность граней со слабым рассеянным блеском. Во многих зернах с хорошо сохранившейся центральной частью, обладающей алмазным блеском, шероховатость повышается у ребер. В редких случаях в пределах одного зерна находятся как полностью шероховатые, так и совершенно гладкие грани.

В таблице 1 дана оценка распространенности разных типов зерен хромшпинелида для различных типов россыпей.

Полностью сохранившееся зерна часто имеют размер не более 0.25 мм и составляют не более 10 % зерен, следовательно, их количество в пробе определяется преимущественно размером зерен в коренном источнике. Поэтому за критерий оценки степени удаленности обломочных зерен хромшпинелида от коренного источника взято отношение зерен типа 3 к зернам типа 2. Это отношение для элювиальных и ложковых россыпей не превышает, в среднем, 1.5, при этом для аллювиальных россыпей с существенным расстоянием переноса обломочного материал может варьировать от 1.94 до 4.76.

Результаты химического анализа хромшпинелидов из россыпных и коренных объектов приведены в таблице 2.

Таблица 1

**Процентное соотношение зерен хромшпинелида разных морфологических типов в шлиховых пробах**

Массив, тип	Размер зерен, мм	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 3/тип 2
		%			
Нижнетагильский, ложковая	0.3–0.4	10	40	50	1.25
Сосновский, элювиальная	0.4–0.5	6	32	62	1.94
Вересовоборский, аллювий	0.3–0.4	2	31	67	2.16
Светлоборский, ложковый	0.4–0.5	3	29	68	2.34
Каменушенский, элювиально-делювиальный	0.2	8	44	48	1.09
Каменушенский, аллювий	0.2–0.3	2	17	81	4.76

Таблица 2

## Средний состав хромшпинелида из хромититов и россыпей (мас. %)

Массив	Нижнетагильский		Сосновское		Вересово-борский		Светлоборский		Каменушенский		
	кор.	ложк.	кор.	ал.	кор.	ал.	кор.	ложк.	кор.	эл.-д.	ал.
TiO <sub>2</sub>	0.41	0.41	0.58	0.49	0.67	0.42	0.35	0.49	0.41	0.63	0.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.07	9.37	9.72	11.10	6.23	8.90	7.77	8.12	9.76	10.84	8.92
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	53.67	44.43	49.82	43.93	44.07	50.05	47.80	46.42	46.69	45.19	50.74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.35	17.24	18.15	17.67	21.82	13.30	13.53	16.56	13.92	16.16	13.46
FeO	8.30	22.25	11.76	18.09	18.38	18.66	22.99	21.56	21.26	18.57	16.68
MnO	0.37	0.65	0.51	0.58	0.26	0.66	0.46	0.83	0.52	0.59	0.62
MgO	10.34	5.90	9.66	7.27	7.85	8.69	8.37	6.13	8.47	8.59	9.47
ZnO	0.05	0.41	0.12	0.27	0.06	0.25	0.07	0.48	0.06	0.30	0.21
NiO	0.04	0.15	0.15	0.14	0.10	0.26	0.03	0.45	0.15	0.15	0.14
Cr#	0.88	0.83	0.84	0.80	0.88	0.85	0.86	0.85	0.83	0.81	0.85
Mg#	0.55	0.21	0.46	0.29	0.30	0.32	0.27	0.22	0.29	0.32	0.37
N	77	35	113	38	29	22	67	29	38	16	22

Примечание. Кор. – коренные хромититы; россыпи: эл.-д. – элювиально-делювиальные, ложк. – ложковые, ал. – аллювиальные; Cr# = Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); Mg# = MgO/(MgO+FeO); N – число анализов.

Наибольшим вариациям в составе хромшпинелидов подвержены FeO и MgO. Для большинства хромшпинелидов из россыпей разных генетических типов характерно уменьшение магнезиальности и увеличение содержания FeO по сравнению с хромшпинелидами из коренных источников. Единственным исключением являются россыпи, связанные с Каменушенским клинопироксенит-дунитовым массивом. Для хромшпинелида из этих россыпей характерно увеличение содержания MgO по мере удаления от коренного источника. Снижение магнезиальности и переход от магнезиохромита к феррихромиту является специфической особенностью, отражающей процесс перехода хромшпинелида из коренных хромититов в россыпи. Отсутствие явной связи снижения магнезиальности в зависимости от дальности переноса хромшпинелида в россыпях позволяет утверждать, что процесс привноса FeO происходит на стадии выветривания коренных пород при формировании кор выветривания, которые затем служат промежуточным коллектором вещества для формирования россыпей, переотложенного в результате процессов денудации и размыва.

Содержания оксидов трехвалентных катионов в хромшпинелидах варьируют меньше по сравнению с оксидами двухвалентных катионов. Так, коэффициент хромистости хромшпинелидов из коренных хромититов несущественно выше аналогичного показателя для хромшпинелидов из россыпных объектов. Положение фигуративных точек анализов хромшпинелидов на классификационной диаграмме [Павлов и др., 1979] (рис. 2) для Светлоборского и Каменушенского массивов совпадает по содержанию трехвалентных катионов. Хромшпинелиды из коренных пород и россыпей Нижнетагильского, Сосновского и Вересовоборского массивов отличаются по составу, однако точки всех анализов укладываются в характерный для клинопироксенит-дунитовых массивов тренд [Лазаренков и др., 1992].

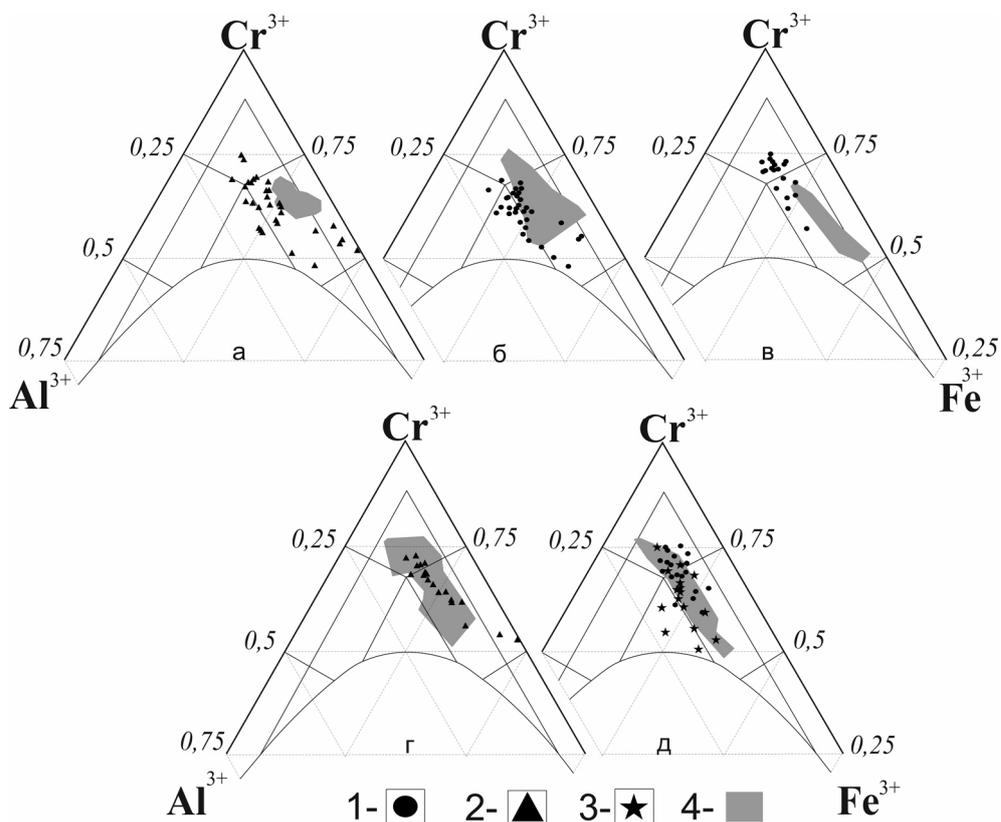


Рис. 2. Состав россыпных и коренных хромшпинелидов: а) Нижнетагильский, б) Сосновский, в) Вересовоборский, г) Светлоборский, д) Каменушенский.

Россыпи: 1 – аллювиальные, 2 – ложковые, 3 – элювиально-делювиальные; 4 – поле коренных хромшпинелидов.

Таким образом, предложена типизация зерен хромшпинелида из россыпей на основании их морфологических признаков для получения числового критерия степени преобразования минералов в ходе формирования россыпей. Его использование позволяет отличать хромшпинелиды аллювиальных россыпей с большим расстоянием переноса обломочного материала от таковых из других типов россыпей с незначительным переносом от коренных источников. Помимо закономерных отличий в морфологии, хромшпинелиды из коренных источников и россыпей отличаются по химическому составу, при этом содержание оксидов  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  при россыпеобразовании меняется незначительно. Этот факт позволяет использовать классификационную диаграмму Н. В. Павлова с соавторами [1979] для определения генетического типа коренного источника россыпей с хромшпинелидами. Процесс перехода хромшпинелида в россыпи сопровождается увеличением содержания  $\text{FeO}$  и закономерным уменьшением магнезиальности.

## Литература

*Волченко Ю. А., Иванов К. С., Коротеев В. А., Оже Т.* Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений Уральского типа // Литосфера. 2007. № 4. С. 73–101.

*Лазаренков В. Г., Малич К. Н., Сахьянов Л. О.* Платинометаллическая минерализация зональных ультраосновных и коматиитовых массивов. Л.: Недра, 1992. 217 с.

*Павлов Н. В., Григорьева И. И., Гришина Н. В.* Образование и генетические типы хромитовых месторождений геосинклинальных областей // Условия образования магматических рудных месторождений. М.: Наука, 1979. С. 65–79.

*Паламарчук Р. С., Степанов С. Ю., Ханин Д. А., Антонов А. В., Золотарев А. А.* Сравнительная характеристика минералов платиновой группы из элювиально-делювиальной россыпи и хромититов Светлоборского клинопироксенит-дунитового массива (Средний Урал) // Минералогия. 2017. Т. 3. № 4. С. 40–50.

*Palamarchuk R. S., Stepanov S. Yu.* Characteristics of platinum placers associated with Uralian-Alaskan complex in Middle Urals // Abstract volume of the XI L. L. Perchuk International School of Earth Sciences. Miass, 2017. P. 35–37.