

*Cassard D., Nicolas A., Rabinowitch M., Moutte J., Leblanc M., Prinzhofer A.* Structural classification of chromite pods in Southern New Caledonia // *Economic Geology*. 1981. Vol. 76. P. 805–831.

*Grant K. J., Wood B. J.* Experimental study of the incorporation of Li, Sc, Al and other trace elements into olivine // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2010. Vol. 74. P. 2412–2428.

*Hock M., Friedrich G., Plueger W. L., Wichowski A.* Refractory- and metallurgical-type chromite ores, Zambales Ophiolite, Luzon, Philippines // *Mineralium Deposita*. 1986. Vol. 21. P. 190–199.

*Nicolas A., Bouchez J. L., Boudier F., Mercier J. C.* Textures, structures and fabrics due to solid state flow in some European lherzolites // *Tectonophysics*. 1971. Vol. 12. P. 55–86.

*Poirier J.-P.* Creep of crystals. High-temperature deformation processes in metals, ceramics and minerals. Cambridge University Press, 1985. 287 p.

**Е. А. Бажин, Д. Е. Савельев**  
Институт геологии УНЦ РАН, г. Уфа  
*bazhin\_evgeniy@mail.ru*

### **Особенности гранулометрического состава вкрапленных хромовых руд массива Средний Крака, Южный Урал**

Для мировой практики характерен повышенный интерес к обогащению бедных хромовых руд, увеличению извлекаемости полезных компонентов из хвостов обогащения и отвалов, а также комплексному использованию руд [Nafziger, 1982; Murthy et al., 2011]. В качестве примеров успешного использования низкоградных руд для получения высококачественных концентратов можно указать на опыт Китая, Турции или проект «Тяжелые пески Орегона» (США) [Elci, Malazgirt, 2013; Yorukoğlu, Delibaş, 2012].

Месторождения и рудопроявления хромовых руд массивов Крака на Южном Урале относятся к категории бедных (5–25 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Они представлены протяженными рудными зонами, сложены высокохромистыми рудообразующими хромитами и могут представлять интерес как дополнительный источник хрома. Вместе с тем, проведение полноценных поисково-разведочных работ на хромитовых объектах массивов Крака сдерживается по причине отсутствия определенного ответа об их обогатимости.

В предыдущих работах нами предложена двухступенчатая схема обогащения руд Саксей-Ключевской площади массива Крака, включающая предварительную рентгено-радиометрическую сепарацию фракции –100+50 мм с получением промежуточного продукта, содержащего, в среднем, 15–20 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , измельчение промпродукта до размерности –1 мм и гравитационное обогащение на концентрационных столах и винтовых сепараторах [Савельев и др., 2008]. Апробация данной схемы успешно проведена на объектах Северо-Апшакской площади, где в результате обогащения сырых руд с содержанием 10–13 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  получен концентрат с содержанием 45–48 % мас.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (данные ЗАО «ГДК Хром»).

Целью данной работы является определение гранулометрического состава руд Саксей-Ключевской площади петрографическими методами с использованием полученных данных в лабораторных экспериментах по гравитационному обогащению руд. Исследовались вкрапленные хромититы Ключевского и Саксейского

рудопроявлений и Шатранского месторождения, расположенных в пределах массива Крака, суммарные ресурсы которых определены примерно в 15 млн т руды при среднем содержании 5–11 % мас.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  [Шумихин и др., 1979ф].

Содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в первичных рудах и концентратах определялось рентгено-флуоресцентным методом на спектрометре VRA-30 (Германия) в ИГ УНЦ РАН (аналитики С. В. Мичурин, А. М. Мусина, Ф. Р. Валиева). Условия измерения: напряжение на аноде 30 кВ, ток 30 мА, материал анода – хром. Измерение проводили в вакууме с использованием кристалла  $\text{LiF } 220$ , на аналитической линии хрома  $K\alpha_1$ . Предел обнаружения  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  составил 0.1 мас. %. Анализируемые пробы (5 г) предварительно истирали со связующим (ПВС-8) и прессовали при давлении 25–27 т на подложке из борной кислоты. Для измерения морфологических и размерных показателей зерен хромитов использована программа «Image Tool», которая позволяет в автоматическом режиме провести измерения ряда параметров [Белогуб, 2013]. Перед финальной обработкой изображений структуры в программе проведена их «подготовка»: выполнены серии снимков в отраженном свете на микроскопе «Полам Р-311», проведено их масштабирование, приведение к требуемому формату и разрешению. Получена таблица результатов измерений с указанием следующих параметров: площадь, периметр, длина по длинной и короткой оси и т. д. в пикселях. Далее рассчитывался масштаб и обрабатывались полученные данные.

Всего было изучено около 7000 зерен (Шатранское – 2400, Ключевское – 1000, Саксейское – 3500). По результатам измерений составлены два вида гистограмм. По оси абсцисс на диаграммах обоих типов отложены интервалы среднего диаметра окружностей, занимающих равную площадь с измеряемым зерном. По оси ординат в первом типе гистограмм была нанесена доля зерен той или иной размерности по отношению к общему количеству зерен (%). На гистограмме второго типа по оси ординат нанесена доля площади, занимаемой зернами той или иной размерности по отношению к суммарной площади зерен (%).

На гистограммах первого типа (рис. а) все объекты характеризуются резким преобладанием класса 0.05–0.2 мм (около 80 %) при почти равной доле классов 0.05–0.1 мм и 0.1–0.2 мм. На Ключевском преобладает класс 0.1–0.2 мм (38.7 %) против 34.5 % для класса 0.5–0.1 мм, далее от класса 0.3 до 0.6 мм уменьшается количество зерен от 13 до 1 %, более крупные хромиты встречаются в виде единичных зерен. На Шатранском месторождении зерна со средним сечением 0.05–0.1 мм незначительно доминируют, далее резко уменьшается содержание хромитов более крупных классов. В пределах Саксейского проявления распространены зерна 0.05–0.1 мм (50 %), класс 0.1–0.2 мм составляет >40 %, на зерна размером 0.2–0.3 мм приходится 9 %, а класс 0.3–0.6 мм составляет не более 2.5 %; более крупные хромиты во вкрапленных рудах не встречаются.

На гистограммах второго типа фракционный состав рудных минералов существенно меняется (рис. б). Самые распространенные зерна размером 0.05–0.1 мм на Шатранском месторождении и Ключевском проявлении слагают не более 4.5 % от общей площади хромитов в аншлифе, 95 % площади сложено зернами классов 0.2–1.0 мм при незначительном доминировании зерен размером 0.3 мм. В образцах Шатранского месторождения два зерна диаметром 1.6 мм по площади равны почти 1000 зерен класса 0.05–0.1 мм. На Саксейском месторождении почти 85 % площади хромитов сложено зернами размером 0.2–0.6 мм, зерна класса 0.05–0.1 мм занимают 15 % от общей площади хромитов.

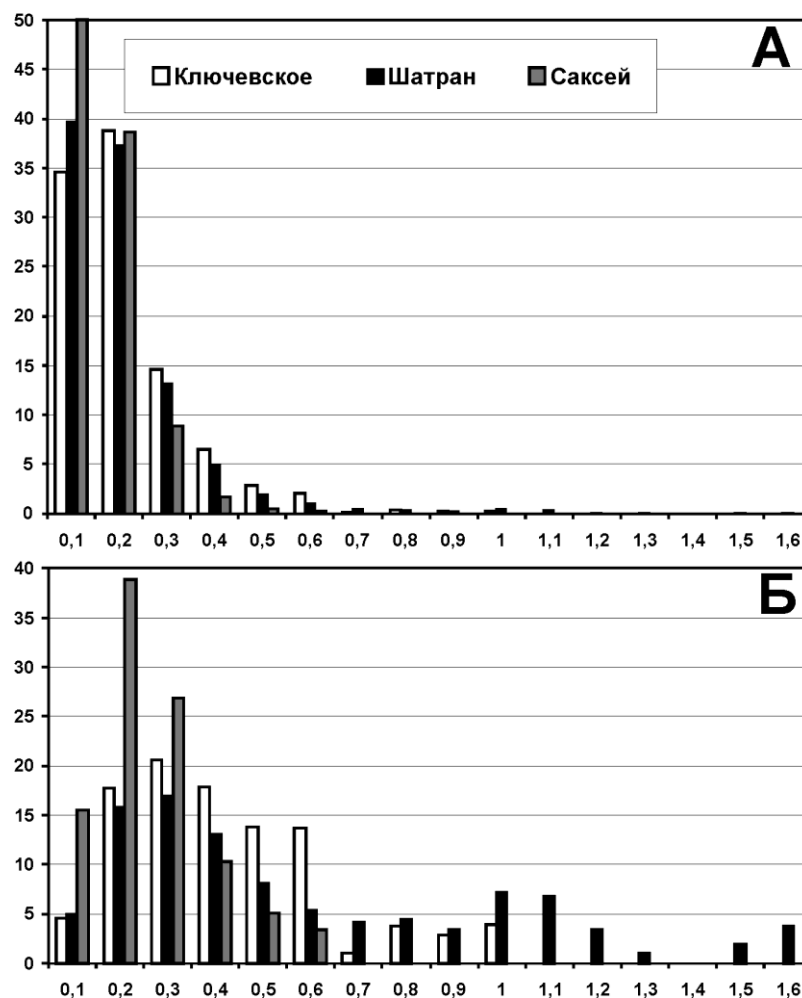


Рис. Распределение рудообразующих хромитов по фракциям на месторождениях и рудопроявлениях Саксей-Ключевской площади массива Средний Крак.

А) по оси ординат отложено относительное количество зерен (%) определенной фракции, Б) по оси ординат отложена относительная площадь (%), занимаемая зернами определенной фракции.

Данные по гранулометрическому составу руд, полученные петрографическим методом, сопоставлены с результатами обогащения сырых бедных руд на винтовом шлюзе ВШ-5. Для хромитовых концентратов был установлен фракционный состав, представленный в таблице, из которой видно, что более 50 % концентратов представлено фракцией 0.10–0.25 мм. Фракции <0.1 и 0.25–0.5 играют равную роль либо преобладают более крупные, что вполне согласуется с результатами гранулометрических измерений в аншлифах.

Т а б л и ц а

**Фракционный состав хромитовых концентратов, %**

Объект	№ пробы	менее 0.1 мм	0.1–0.25 мм	0.25–0.5 мм
Саксейское	СК-423-Б (02)	16.61	68.49	14.90
Саксейское	СК-1870-Б (02)	17.27	59.01	23.72
Саксейское	СК-1108-Б (02)	9.13	67.65	23.22
Ключевское	СК-1881-Б (02)	12.20	54.30	33.50
Шатранское	СК-1114-Б (02)	5.95	56.51	37.54
Шатранское	СК-1872-Б (02)	6.36	51.74	41.91

Содержание оксида хрома в исходных пробах составляло от 4.55 до 8.1 мас. %. Концентраты наиболее высокого качества были получены из руд Шатранского месторождения и Ключевского рудопроявления. В обоих вариантах (фракции –1.0 мм и –0.5 мм) содержание  $Cr_2O_3$  в концентрате составило 43.79–48.51 мас. % [Савельев и др., 2014; Савельев, Бажин, 2015] при значительной вариации извлечения полезного компонента (45.05–76.86 %). Более низкие содержания  $Cr_2O_3$  получены в концентратах из проб, отобранных на участке Саксейского рудопроявления (26.05–43.55 мас. %) при извлечении  $Cr_2O_3$  37.72–72.51 %. Отношение  $Cr/Fe$  в концентратах составляет 2.5–4, в хвостах обогащения содержание оксида хрома варьирует от 1.8 до 4.8 мас. %.

Таким образом, во вкрапленных хромовых рудах Саксей-Ключевской площади массива Крака на Южном Урале значительный объем хромитов сложен фракцией +0.1–0.5 мм, фракция –0.1 мм составляет около 5 % от общего объема. Вместе с тем, лабораторные исследования по обогащению на винтовом шлюзе показали, что измельчение руды до размерности –0.5 мм приводит к высвобождению значительной части рудных зерен из силикатной матрицы. В результате лабораторных исследований по гравитационному обогащению вкрапленных руд получены мелкозернистые концентраты с высоким содержанием оксида хрома (до 47–48 мас. %). Наилучшие результаты получены по рудам Шатранского месторождения и Ключевского рудопроявления.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект «р\_поволжье\_а № 14-05-97001») и госконтракта «Модель образования месторождений хрома в офиолитовых комплексах Южного Урала». Авторы признательны Т. Ф. Меньшиковой и руководству ЗАО «ГДК Хром» за содействие в полевых исследованиях и предоставленную информацию по кусковой РРС сепарации хромовых руд.*

**Литература**

Белогуб Е. В. Современные методы количественного минералогического анализа // Металлогения древних и современных океанов–2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. С. 228–231.

Савельев Д. Е., Бажин Е. А. Состав и текстурные особенности вкрапленных хромовых руд Саксей-Ключевской площади (массив Средний Крака, Южный Урал) // Известия АН РБ. Геология. 2015. № 21. С. 83–95.

Савельев Д. Е., Илалтдинов И. Я., Бажин Е. А. Перспективы освоения вкрапленных хромовых руд Саксейского участка (массив Средний Крака, Южный Урал) // Геологический сборник № 11. Уфа: ДизайнПресс, 2014. С. 215–224.

*Савельев Д. Е., Сначев В. И., Савельева Е. Н., Бажин Е. А.* Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 2008. 320 с.

*Шумихин Е. А., Радченко В. В., Фаткуллин Н. А.* Отчет о результатах поисково-оценочных работ на известных проявлениях вкрапленных хромитовых руд по объекту «Участок Средний Крака». БТГФ. Уфа, 1979.

*Elci B., Malazgirt A.* Turkish progress and recent trends in chrome beneficiation // Mining Turkey Magazine. 2013. Is. 5. <http://www.miningturkeymag.com/arsiv/makalegoruntule/68>

*Murthy Y. R., Tripathy S. K., Kumar C. R.* Chrome ore beneficiation challenges and opportunities – A review // Minerals Engineering. 2011. Vol. 24. P. 375–380.

*Nafziger R. H.* A review of the deposits and beneficiation of lower-grade chromite // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 1982. P. 205–226.

*Yorukoğlu A., Delibaş O.* Mineral potential of Turkey // Mining Turkey Magazine. 2012. Vol. 2. [www.madencilik-turkiye.com](http://www.madencilik-turkiye.com)

**К. С. Поздеева, А. И. Чернышов**

*Национальный исследовательский*

*Томский государственный университет, г. Томск*

*ksupoz1992@gmail.com*

### **Геохимические особенности ультрамафитов и хромититов Харчерузского массива (Полярный Урал)**

Харчерузский ультрамафитовый массив является фрагментом офиолитовой ассоциации Полярного Урала [Шмелев, 1991]. Он располагается южнее ультрамафитового массива Сьум-Кеу, от которого отделен метаморфизованными габбро-амфиболитами. Массив сложен преимущественно рестирированными дунитами и их серпентинизированными разностями. Среди дунитов редко встречаются реликтовые участки гарцбургитов. Целью настоящего исследования является выявление геохимической неоднородности дунитов, гарцбургитов и хромититов массива в образцах, отобранных в процессе проведения полевых работ.

Дуниты неравномерно пластически деформированы. С возрастанием степени их деформации происходит уменьшение размеров зерен оливина, они приобретают неоднородное погасание, появляются полосы пластического излома, возрастает роль синтетектонической рекристаллизации, нередко происходит раскалывание зерен оливина по спайности (010). По совокупности и интенсивности проявления признаков пластической деформации в Харчерузском массиве выделяются следующие главные петроструктурные типы ультрамафитов: мезогранулярный → порфирокластовый → мозаичный, которые неоднократно отмечались в перидотитах офиолитовых комплексов [Nicolas, Poigier, 1976; Гончаренко, 1989; Шмелев, 1991; Чернышов, 2001]. Наибольшим распространением пользуются порфирокластовые дуниты, которые возникают за счет исходных протогранулярных, результаты исследования которых приводятся ниже.

Неоднородность состава ультрамафитов и ассоциирующих с ними хромититов, выявленная по петрографическому составу, подтверждается распределением в них редкоземельных элементов на бинарных диаграммах (рис.). При построении диаграмм