

УДК 552.321.6+553.46

## К проблеме практического использования вкрапленных хромовых руд Саксей-Ключевской площади массива Средний Крака (Южный Урал)

Д.Е. Савельев<sup>а</sup>, И.Я. Илалтдинов<sup>б</sup>, Е.А. Бажин<sup>а</sup><sup>а</sup>Институт геологии Уфимского научного центра РАН, 450077, Уфа,  
ул. К.Маркса, 16/2. E-mail: sav171@mail.ru<sup>б</sup>Пермский государственный национальный исследовательский универси-  
тет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: ildar.ilaltdinov@psu.ru  
(Статья поступила в редакцию 25 декабря 2015 г.)

Представлены результаты исследования текстурно-структурных особенностей и лабораторных экспериментов по обогащению вкрапленных хромовых руд. Несмотря на низкое содержание оксида хрома в среднем по месторождениям (5-10%), довольно высокая контрастность оруденения позволяет применить на начальной стадии обогащения рентгенорадиометрическую сепарацию с получением кускового (-100 +50 мм) промежуточного продукта со средневзвешенным содержанием 18% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. После его измельчения и глубокого гравитационного обогащения на винтовых сепараторах возможно получение концентрата с содержанием оксида хрома выше 40%.

Ключевые слова: *хромовые руды, обогащение, рентгенорадиометрическая сепарация, Крака, Южный Урал.*

DOI: 10.17072/psu.geol.30.88

### Введение

Для мировой практики в целом характерно повышение интереса к исследованиям обогащения низкоградных хромовых руд, увеличения извлекаемости полезных компонентов из хвостов обогащения и отвалов, а также комплексного использования руд [17, 18]. Потребность в хромитовом сырье в России на протяжении последних 20 лет покрывалась в основном за счет импорта [6]. В настоящее время основные запасы хромовых руд металлургического типа сосредоточены на четырех месторождениях: Аганозерском (26,5 млн т. при среднем содержании 22,65% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Сопчеозерском (9,5 млн т. при среднем содержании 25,68% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Центральном и Западном (около 5 млн т. при среднем содержании 37% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [14]. Большая часть руд по содержанию оксида

хрома и отношению Cr/Fe относятся к низкоградным и требуют обогащения, в котором ведущая роль принадлежит гравитационным методам [1].

Приведем несколько примеров, свидетельствующих о повышении роли продуктов обогащения низкоградных хромитов в металлургии. В последние годы на лидирующие позиции в производстве феррохрома вышел Китай, где широко используется новая технология получения феррохрома в электродуговых печах постоянного тока (DC-furnace). В ней, в отличие от классической технологии «АС-furnace», с успехом используются тонкие хромитовые концентраты, которые не требуют предварительной агломерации [16]. Основные производители хромитового сырья также увеличивают выпуск тонких хромовых концентратов. В частности, такие концентраты на некоторых

рудниках ЮАР получают из отходов от извлечения платиноидов пласта UG-2. В Турции – одной из ведущих стран, добывающих хромиты, запасы руд составляют 26,6 млн т. при среднем содержании 20%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и еще 400 млн т. более низкоградных хромитов рассматриваются как ресурсный потенциал для использования в ближайшем будущем [19]. В настоящее время в США реализуется проект «Минеральные пески Орегона» (Oregon Mineral Sands), цель которого заключается в промышленном освоении пляжевых песков Тихоокеанского побережья. Основным полезным компонентом является хромшпинелид, хотя содержание его в песках не превышает 10%. Общее количество запасов и ресурсов по месторождениям проекта составляет 11,23 млн т. при среднем содержании 8,1% хромита (менее 5%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

Приведенные выше данные показывают, что месторождения даже с очень низким содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  востребованы. В большинстве случаев они являются легкообогатимыми при условии высокого содержания оксида хрома в рудообразующем хромшпинелиде [18]. На массивах Крака, где выделяются как минимум три перспективные хромитоносные площади (Саксей-Ключевская, Апшакская и Малобашартовская) [12 и др.], поисковые работы проводились в недостаточном объеме. Первый этап исследований охватывает 1930-е гг. (Тиховидов, 1932; Фарафонтьев, 1937 и др.), когда была детально изучена поверхность массивов, выявлено большинство известных сегодня месторождений и рудопроявлений. После открытия уникальных месторождений Кемпирсайского массива все работы на массивах Крака были свернуты. Позднее, в 1970-х гг., в незначительном объеме проводились поиски хромовых руд на массиве Средний Крака (Шумихин, Радченко, 1979), а на рубеже 1990-2000 гг. силами частных компаний изучались отдельные лицензионные участки [12]. Месторождения и рудопроявления хромовых руд массивов Крака относятся к категории низкоград-

ных (5-25%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), но представлены протяженными рудными зонами и сложены высокохромистыми рудообразующими хромшпинелидами [10, 12]. Они могут представлять определенный интерес как дополнительный источник хромитового сырья при условии подтверждения значительных объемов руд и получения положительных результатов по их обогащению.

### Методика исследований

Для решения поставленной задачи были применены два подхода, имеющие целью оценить возможность обогащения руд на различных стадиях измельчения. В первом случае моделировалось получение кускового хромитового концентрата фракции  $-100 + 50$  мм при рентгенометрической сепарации (PPC). Данный метод обогащения руд применительно к нерадиоактивным полезным ископаемым стал использоваться сравнительно недавно [4, 5, 15 и др.]. Среди его основных преимуществ следует отметить следующие: 1) данная технология является «сухой», не предусматривающей расхода водных ресурсов; 2) низкая себестоимость достигается за счет исключения таких энергоемких процессов, как обезвоживание; 3) сухие технологии обогащения требуют меньших капитальных затрат, т. к. нет необходимости в строительстве сложных гидротехнических сооружений для складирования жидких отходов [2]; 4) кусковая сепарация на стадии предварительного обогащения позволяет отделить значительные объемы пустой породы и существенно повысить содержание ценного компонента в рудах (промежуточных продуктах) перед дальнейшей переработкой [7].

Опытно-промышленные испытания установки рентгенометрической сепарации СРФ-2-100/10 проводились в пределах Апшакской площади массива Южный Крака (Апшакский и Северо-Апшакский лицензионные участки). На Ашкарской ДОФ силами ЗАО «ГДК

Хром» применялась крупнокусковая рентгенорадиометрическая сепарация фракции -100+50 мм, что позволило получать концентрат (>30% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и/или промежуточный продукт (10-30% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в зависимости от содержания на выходе оксида хрома. Принципиально важным результатом этих работ следует считать возможность проводить сортировку добытой горной массы с предельно низкими порогами содержания оксида хрома, вплоть до 5-7% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, т. к. при этом практически все минерализованные куски остаются в промпродукте (Меньшикова Т.Ф., устное сообщение).

Базируясь на этих результатах, мы поставили задачу смоделировать состав кусковых концентратов, которые могут быть получены из вкрапленных руд перспективных площадей массивов Крака. Для этого выбраны несколько наиболее представительных участков, где ранее были пройдены каналы или технологические выемки. Из одного и того же искусственного обнажения отбирались бороздовые пробы длиной не менее 2 м и серия минерализованных обломков (30-50 штук) с размером сечения не менее 50 мм. В дальнейшем все штуфы разрезались поперек полосчатости на примерно равные части. Одна часть оставлялась для изучения текстурно-структурных и минералогических особенностей, из второй части образца после измельчения отбиралась навеска для определения химического состава.

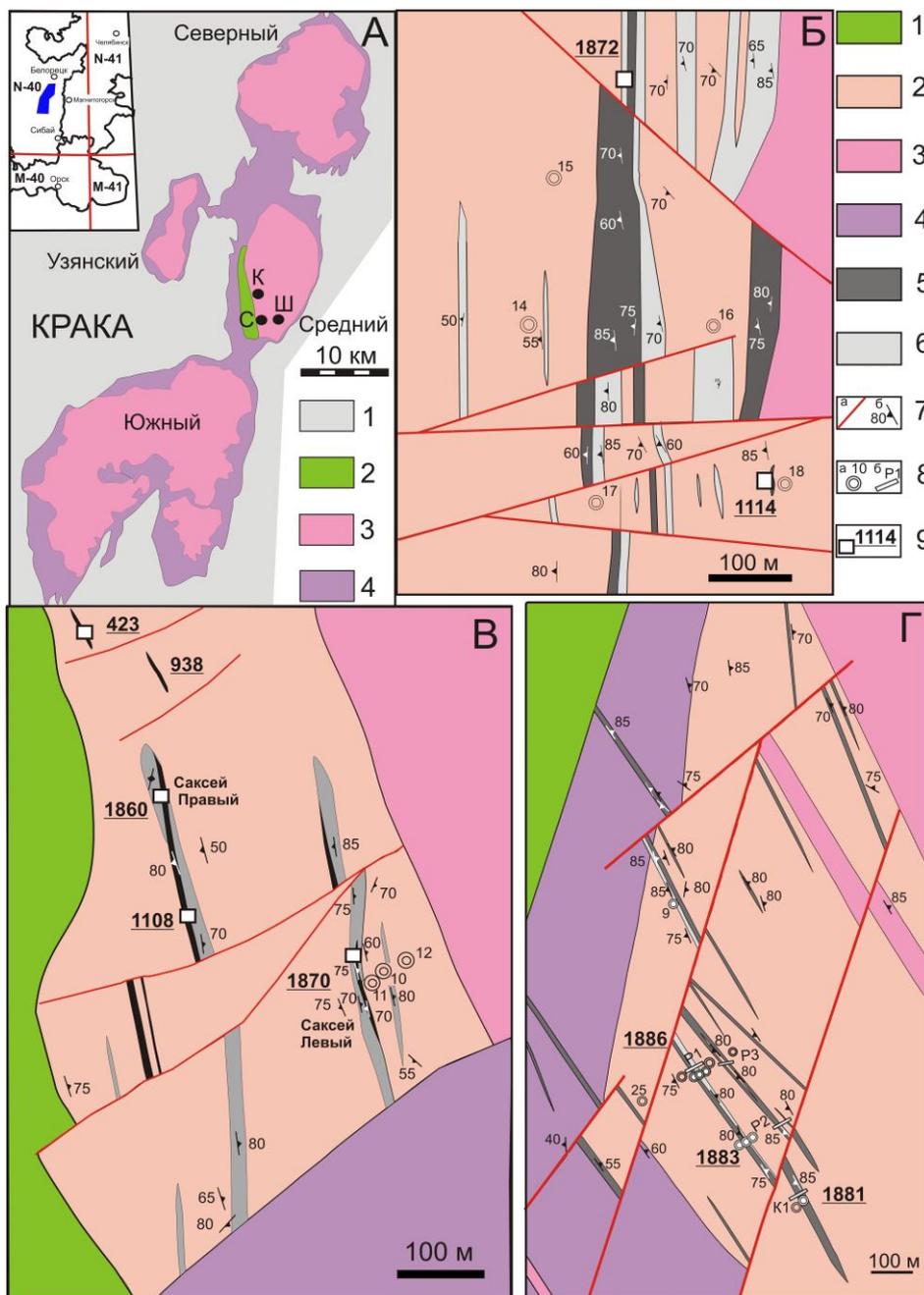
Второй подход включал оценку возможности получения тонкого гравитационного концентрата из вкрапленных руд. Для этой цели использовался материал бороздовых проб, которые отбирались из старых горных выработок 1930-х и 1970-х гг. и опытно-промышленных выемок, пройденных в начале 2000-х гг. [12]. Обогащение проводилось на винтовом шлюзе ВШ-5 в ПГНИУ (Пермь). Из исходного материала отбиралась общая навеска на определение содержания оксида хрома в бороздовой пробе, затем проба делилась на две части, которые соответственно из-

мельчались до размерности -1,0 мм и -0,5 мм. Пробы более крупной фракции, кроме того, были предварительно отмучены. Перед обогащением пробы просушивались и взвешивались.

Пробоподготовка включала следующие этапы: 1) обогащение дробленого материала проб на винтовом шлюзе с получением концентрата; 2) сушка и взвешивание концентрата винтового шлюза; 3) полуколичественный минералогический анализ концентрата винтового шлюза; 4) квартование концентратов винтового шлюза и отбор навески для анализа. Содержание оксида хрома определялось рентгенофлуоресцентным 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 LiF 220 на аналитической линии хрома Ka1. Предел обнаружения при измерении Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составлял 0,1 %. Анализируемые пробы (5 г) предварительно истирали со связующим (ПВС-8) и прессовали при давлении 25-27 т на подложке из борной кислоты.

### Фактический материал и обсуждение

В пределах рассматриваемой площади известны Ключевское и Саксейское рудопроявления и Шатранское месторождение бедновкрапленных руд (рис.1). Месторождение Шатран расположено в юго-восточной части Саксей-Ключевской площади (рис.1 б), рудовмещающими породами являются дуниты. Рудные тела представлены уплощенными линзами и пластообразными телами протяженностью до 650 м. Мощность сильно варьирует, достигая в отдельных случаях 60 м, а в среднем равна 10 м. Прогнозные ресурсы вкрапленных хромитов на Шатранском месторождении составляют более 10 млн. т. при содержании Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5-11 % (Шумихин, Радченко, 1979).



**Рис.1.** Строение месторождений и рудопроявлений хромовых руд Саксей-Ключевской площади массива Средний Крака (по Е.А.Шумихину, В.В.Радченко (1979) с изменениями авторов).

А (обзорная схема): 1 – вмещающие породы, 2 – габбро, верлиты, клинопироксениты, 3 – шпинелевые перидотиты и дуниты, 4 – серпентиниты; Б – Г : 1 – породы габброидного комплекса (габбро, клинопироксениты, верлиты с подчиненными серпентинитами и апогаббровыми метасоматитами), 2 – преимущественно дуниты, 3 – шпинелевые перидотиты с подчиненными дунитами, 4 – серпентиниты, 5 – вкрапленные хромовые руды, 6 – дуниты с повышенной вкрапленностью хромшпинелидов, 7 – разрывные нарушения (а) и элементы залегания струйчатости и полосчатости хромшпинелидов, 8 – скважины и их номера (а), расчистки и их номера (б), 9 – места отбора проб

В Саксейское рудопоявление (рис. 1, в) объединены мелкие месторождения, открытые в 1930-е гг. (Тиховидов, 1932;

Фарафонтьев, 1937), – Левый Саксей и Правый Саксей, которые приблизительно соответствуют рудным телам № 2 и № 3

(Шумихин, Радченко, 1979). Оруденение представлено серией параллельных (до 4-6) прерывистых жил вкрапленных хромитов малой мощности (0,05-0,5 м) с изменчивым содержанием хромшпинелидов (от редко- до густовкрапленных). Образованные субвертикальными хромитовыми жилами рудные зоны имеют субмеридиональное простирание, согласное контактам вмещающих их мощных дунитовых тел, ширина зон составляет 1-5 м. На рудопроявлении выделено два блока, в пределах которых до глубины 100 м подсчитано 864 и 680,4 тыс. т. бедновкрапленной хромовой руды с содержанием 10,04 и 7,3%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  соответственно.

Ключевское рудопроявление расположено в северной части Саксей-Ключевской площади (рис.1 г), хромовое оруденение приурочено к дунитам и представлено большим числом пластообразных и линзовидных тел с простиранием на северо-запад  $310-330^\circ$  и крутым до вертикального падением, иногда изменяющимся в пределах одного тела с северо-восточного на юго-западное. Выделяются три наиболее крупных зоны – западная, центральная и восточная. Протяженность их изменяется от 300 до 1700 м, мощность от 3 до 15 м. По падению оруденение прослежено до глубины 100 м. Прогнозные ресурсы составляют 2,7 млн. т. при содержании  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  5,65-6,84% (Шумихин, Радченко, 1979). В целом для Саксей-Ключевской площади прогнозные ресурсы хромовых руд, по данным тех же авто-

ров, составляют около 15 млн т. при среднем содержании 5-11%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

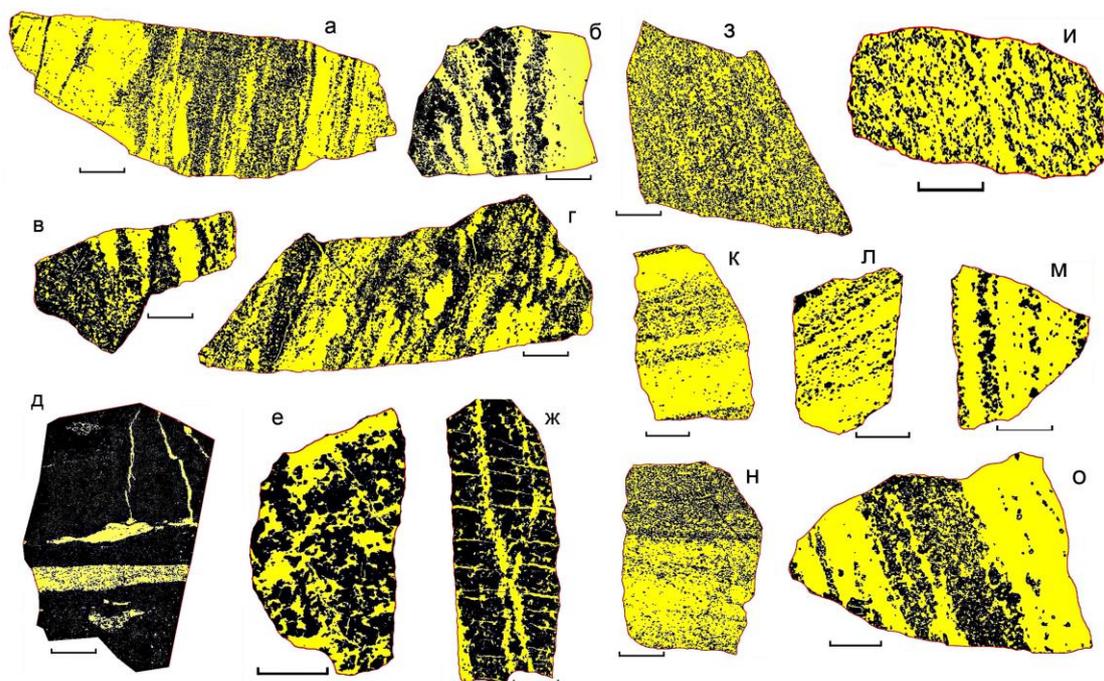
Отбор бороздовых проб был проведен из рудных тел месторождения Шатран (СК-1872; СК-1114), месторождений Левый (СК-1870) и Правый (СК-1108) Саксей, точки №423 (СК-423) и рудопроявления Ключевское (СК-1881). Кусковые пробы, кроме указанных пунктов, также были отобраны дополнительно на Ключевском рудопроявлении (СК-1881, СК-1883, СК-1886) и месторождении Правый Саксей (СК-1860). Результаты анализа бороздовых проб приведены в табл.1, из которой следует, что в среднем по рудоносным зонам оруденение бедное, полученные цифры согласуются с данными Е.А.Шумихина и В.В.Радченко (1979). Вместе с тем неоднородное распределение хромшпинелидов внутри рудоносных зон обуславливает концентрацию большей части полезного компонента в средневкрапленном типе обломков фракции – -100+50 мм, которые могут быть достаточно легко отделены от вмещающих дунитов методом РРС.

Основные текстурные типы хромовых руд рассматриваемой площади показаны на рис.2 и расположены по мере возрастания в них количеств рудного минерала и/или степени контрастности. Текстуры с однородным распределением зерен рудного минерала по объему имеют весьма ограниченное распространение на изученных объектах.

**Таблица 1.** Содержание оксида хрома в бороздовых пробах хромовых руд Саксей-Ключевской площади

№ п/п	№ пробы	Объект	$\text{Cr}_2\text{O}_3$ , %	Длина борозды, м
1	СК-1870-Б	Саксей Левый	4,55	2,5
2	СК-1114-Б	Шатран	8,10	1,7
3	СК-1881-Б	Ключевское	7,98	2,5
4	СК-1108-Б	Саксей Правый	7,07	2,0
5	СК-423-Б	точка 423	6,52	2,0
6	СК-1872-Б	Шатран	5,83	3,5

*Примечание:* анализы выполнены рентгенофлуоресцентным методом (VRA-30) в Институте геологии УНЦ РАН, аналитики С.В. Мичурин, А.М. Мусина, Ф.Р. Валиева.



**Рис.2.** Текстурные особенности хромовых руд Саксей-Ключевской площади. На всех изображениях длина масштабной линейки составляет 1 см

Чаще всего подобные образцы характеризуются равномерно вкрапленной текстурой и значительно реже – массивной. В первом случае наблюдается равнoзернистая структура (0,0п – 0,1 мм), размер зерна всегда возрастает к массивным рудам, и распределение становится неоднородным. Значительно больше распространены на месторождениях полосчатые текстуры хромититов, они доминируют.

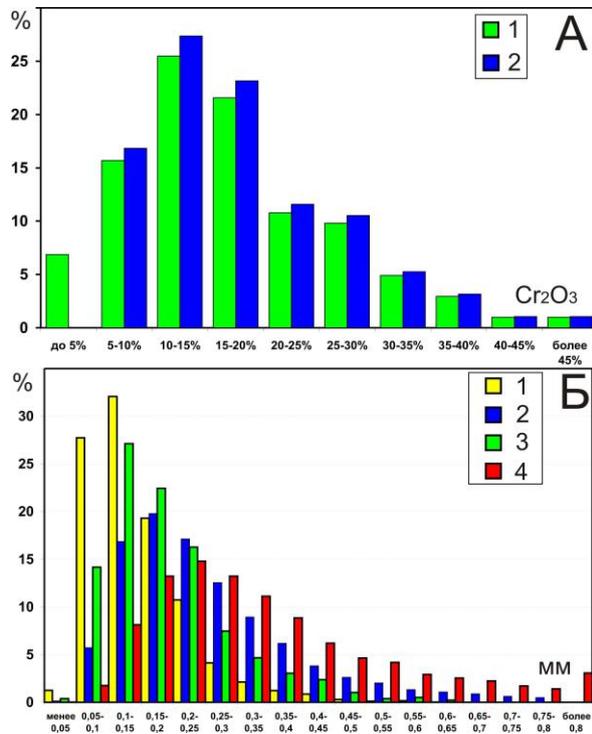
Мощность чередующихся рудных и нерудных прослоев в редковкрапленных полосчатых рудах от нескольких мм до 1-2 см. При увеличении мощности рудных прослоев переход от них к вмещающему дуниту может происходить как постепенно, так и резко, увеличивая контрастность распределения полезного компонента в обломках. Наиболее ценными с практической точки зрения являются густовкрапленные и массивные хромовые руды. На изученных объектах они имеют подчиненное значение, слагая отдельные прослои внутри зон полосчатых вкрапленников.

По данным анализа кусков хромовых руд фракции –100+50 мм была составлена гистограмма (рис.3, а), на которой четко виден интенсивный максимум в интервале

составов 10-20%  $Cr_2O_3$  (50,6 % общего количества), отвечающих типам редко- и средневкрапленных руд по классификации Б.В.Перевозчикова [8]. По распространенности затем следуют убоговкрапленные руды с содержанием 5-10%  $Cr_2O_3$  (16,8% общего количества) и среднегустовкрапленные с содержанием 20-30%  $Cr_2O_3$  (22,1% общего количества). Весьма редко встречаются относительно богатые руды с содержанием выше 30%  $Cr_2O_3$  (10,7% общего количества). Среднее содержание оксида хрома в отобранных минерализованных обломках из рудопроявлений и месторождений Саксей-Ключевской площади составляет 17,1%. Как следует из опытных работ ЗАО «ГДК Хром» на Северо-Апшакской площади массива Южный Крака [9], при РРС вкрапленных хромовых руд можно реализовать достаточно низкие пороги сортировки. В случае, если нижний порог концентрата будет равен 5%  $Cr_2O_3$ , то среднее содержание в кусковом концентрате поднимется до 18,2%.

Расчет гранулометрического состава рудных минералов был проведен в образце хромовой руды наиболее распространенного полосчатого типа (рис.2, а - г), в

котором в незначительном объеме распространены участки массивного сложения. Результаты исследования приведены на графике (рис.3, б).



**Рис.3.** Распределение содержаний  $Cr_2O_3$  в предполагаемом кусковом концентрате из месторождений и рудопроявлений Саксей-Ключевской площади (А) и гранулометрический состав хромитита полосчатопетельчатой текстуры (Б). А: 1 – полная выборка, 2 – выборка с нижним порогом 5%  $Cr_2O_3$ ; Б: 1, 2 – количество зерен с соответствующим размером среднего сечения; 1 – вкрапленные, 2 – сплошные; 3, 4 – суммарная площадь, занимаемая зернами соответствующих средних размеров сечений; 3 – вкрапленные, 4 – сплошные. Количество изученных зерен на участках вкрапленного строения – 3770, сплошного – 3600

Отдельно подсчитывались характеристики рудных зерен на участках вкрапленного и массивного строения, граница между которыми проводилась в зависимости от того, расположены ли рудные зерна полностью в силикатной матрице (вкрапленный тип) или же образуют непрерывные агрегаты (массивный тип). В целом оба текстурных типа характеризуются мелким размером рудных зерен (ме-

нее 1 мм) с преобладанием во вкрапленном типе класса +0,05 – 0,2 мм (80,4%), а в массивном – класса +0,1 – 0,4 мм (77,6%). Таким образом, подтверждается тенденция увеличения среднего размера зерен с ростом густоты вкрапленности, отмечаемая на многих месторождениях офиолитовой ассоциации, в частности на массивах Полярного Урала [13].

Как было указано выше, второй вариант изучения обогатимости вкрапленных хромовых руд массивов Крака включал получение тонкого концентрата из материала бороздовых проб без предварительной кусковой сепарации. Из табл. 2 видно, что исходный материал характеризовался различным содержанием оксида хрома, изменяясь от 4,55 до 8,1% при длинах борозд от 1,7 до 3,5 м. Отмучивание фракций -1,0 мм показало, что значительная часть проб представлена частицами глинистой размерности (от 31,7 до 45,67%). Содержание  $Cr_2O_3$  в глинистой фракции составило от 6,4 до 12,9%, что означает его увеличение по отношению к исходной пробе в 1,5-2 раза. Отмеченная особенность связана с тем, что на большинстве объектов пробы отбирались из приповерхностной зоны, где хромшпинелиды сильно выветрелые и в значительном количестве попадают в тонкий класс. Минимальное повышение концентрации хрома установлено в пробах из месторождения Левый Саксей (от 4,55 до 6,4%), где пробы отбирались из бортов технологических выемок, с глубины 6-8 м от поверхности.

Обогащение измельченного материала бороздовых проб на лабораторном винтовом шлюзе ВШ-5 показало, что концентраты наиболее высокого качества можно получить из руд месторождения Шатран и рудопроявления Ключевское. В обоих вариантах (фракции -1,0 мм и -0,5 мм) содержание  $Cr_2O_3$  в концентрате составило 43,79-48,51% при достаточно низком выходе концентрата (6-12%) и значительной вариации извлечения полезного компонента (45,05-76,86%). Более низкие содержания  $Cr_2O_3$  получены в концентратах

из проб, отобранных на участке Саксейского рудопоявления (26,05-43,55%), выход концентрата варьирует от 7,92 до 15,42%, а извлечение  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  составляет 37,72-72,51%. Отношение  $\text{Cr}/\text{Fe}$  в концентратах составляет 2,5 – 4, в хвостах обогащения содержание оксида хрома варьирует от 1,8 до 4,8%.

Кроме того, на Саксейском рудопоявлении было проведено изучение обогатимости предполагаемого промежуточного продукта, который может быть получен при предварительной крупнокусковой РРС. Исходные пробы характеризовались различным содержанием оксида хрома – от 11 до 26,4%. Обогащение фракции -1,0 мм позволило получить тонкий хромитовый концентрат с содержанием 36,4-

42,52%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , а при обогащении фракции -0,5 мм из тех же проб получены концентраты с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 48% [11]. Таким образом, проведенные исследования в целом подтвердили выводы предшественников (Шумихин, Радченко, 1979) о хорошей обогатимости вкрапленных руд Саксей-Ключевской площади, а также показали необходимость применения крупнокусковой рентгенорадиометрической сепарации на предварительной стадии. Следует отметить, что перспективы рассмотренной площади не ограничиваются тремя указанными объектами. Точки рудной минерализации и рудопоявления отмечаются на простирании всех известных хромитовых зон [12].

**Таблица 2.** Результаты обогащения проб вкрапленных хромовых руд Саксей-Ключевской площади

№ п/п	№ пробы	Объект	Мас.% $\text{Cr}_2\text{O}_3$ в исходной пробе	Выход концентрата, мас. %	Мас.% $\text{Cr}_2\text{O}_3$ в концентрате	Извлечение $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , %
1	СК-1870-1	Саксей Левый	<b>4,55</b>	7,58	<b>43,55</b>	72,51
2	СК-1108-1	Саксей Правый	<b>7,07</b>	12,28	<b>37,27</b>	64,74
3	СК-423-1	точка 423	<b>6,52</b>	7,92	<b>31,06</b>	37,72
4	СК-1872-1	Шатран	<b>5,83</b>	6,00	<b>43,79</b>	45,05
5	СК-1114-1	Шатран	<b>8,10</b>	9,61	<b>48,51</b>	57,55
6	СК-1881-1	Ключевское	<b>7,98</b>	9,49	<b>47,06</b>	55,97
7	СК-1870-2	Саксей Левый	<b>4,55</b>	12,76	<b>26,05</b>	73,01
8	СК-1108-2	Саксей Правый	<b>7,07</b>	14,35	<b>29,24</b>	59,37
9	СК-423-2	точка 423	<b>6,52</b>	15,42	<b>30,48</b>	72,07
10	СК-1872-2	Шатран	<b>5,83</b>	9,10	<b>44,46</b>	69,42
11	СК-1114-2	Шатран	<b>8,10</b>	12,89	<b>48,32</b>	76,86
12	СК-1881-2	Ключевское	<b>7,98</b>	10,92	<b>47,72</b>	65,31
13	СК-1860-ПП1	Саксей Правый	<b>13,00</b>	14,70	<b>42,52</b>	48,08
14	СК-1860-ПП2	Саксей Правый	<b>26,40</b>	35,36	<b>47,7</b>	63,88

*Примечание:* пробы 1-6 – фракция -1,0 мм, предварительно отмученная; пробы 7-12- фракция -0,5 мм без отмучивания; пробы 13-14 – модельный промежуточный продукт.

В рамках проведенного исследования не получили пока своего решения такие проблемы, как комплексное использование руд и вопросы утилизации большого объема отвальных пород (серпентинизи-

рованных дунитов) и хвостов тонкого обогащения, которые будут образованы при освоении месторождений. В настоящее время пути решения данных проблем наметились лишь в общих чертах и состо-

ят в использовании отвальных пород и хвостов в огнеупорной и химической промышленности по аналогии с другими подобными объектами [1]. Одним из полезных компонентов, который может извлекаться наряду с хромитовыми концентратами на изученных месторождениях, является форстерит, по составу сопоставимый с форстеритом Ковдорского железорудного месторождения на Кольском полуострове [3], его содержание в силикатной матрице руд составляет от 10 до 50-60%, увеличиваясь с глубиной. Определенные перспективы также связываются с платинометальной минерализацией хромовых руд. Данные вопросы, как и более точные оценки объемов оруденения на рассмотренной площади, являются предметом дальнейших исследований.

## Выводы

1. Вкрапленные хромовые руды Саксей-Ключевской площади массива Средний Крака представлены преимущественно полосчатыми мелкозернистыми разновидностями с преобладанием фракции +0,05 – 0,5 мм. Измельчение руды до размерности -500 мкм приводит к высвобождению большей части рудных зерен из силикатной матрицы.

2. Изучение состава вкрапленных хромовых руд фракции +50 -100 мкм показало, что применение методов рентгенометрической сепарации на предварительной стадии обогащения позволит получить промежуточный продукт со средним содержанием оксида хрома около 18% при нижнем пороге сортировки 5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Это может существенно снизить затраты, связанные с измельчением сырой руды и последующим гравитационным обогащением.

3. В результате лабораторных исследований гравитационного обогащения вкрапленных руд на винтовом шлюзе получены мелкозернистые концентраты с высоким содержанием оксида хрома (до 47-48%). Наилучшие результаты показали пробы месторождения Шатран и Ключев-

ского рудопроявления. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск оптимальных режимов винтовой сепарации, а также комплексное использование отходов от переработки сырой руды.

*Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ «р\_поволжье\_a №14-05-97001» и темы 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.*

## Библиографический список

1. Гришин Н.Н., Ракаев А.И., Белогурова О.А., Морозова Т.А. Первичная переработка хромитовых руд и рудоподготовка отходов для производства огнеупорных материалов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2004. № 4. С. 98-106.
2. Ентальцев Е.В., Цыпин Е.Ф., Федоров А.Ю. О предпосылках рентгенометрического обогащения хромитовых руд // Материалы Уральской горно-промышленной декады. Екатеринбург, 2006. С.134-135.
3. Каменева Е. Е., Рухленко Е. Д., Андронов Г. П. Особенности состава и флотуемости форстерита Ковдорского месторождения // Обогащение руд. 2014. №3. С. 42-47.
4. Кобзев А.С. Направления развития и проблемы радиометрических методов обогащения // Там же. 2013. №1. С. 13-17.
5. Крапивский Е. И. Области применения радиометрических методов предварительного обогащения руд // Там же. 2014. №1. С. 16-19.
6. Машковцев Г.А. Современное состояние минерально-сырьевой базы отечественной металлургии // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. №5. С. 16-25.
7. Новиков В. В., Рудаков В. В. Радиометрические технологии на стыке горного и обогащательного переделов // Обогащение руд. 2014. №4. С. 8-13.
8. Реестр хромитовых месторождений в альпинотипных гипербазитах Урала / под

- ред. Б.В. Перевозчикова. Пермь, 2000. 474 с.
9. 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.
  10. Савельев Д.Е., Сначев В.И. Бедновкрапленные хромовые руды Южного Урала и перспективы их практического использования // Руды и металлы. 2012. № 2. С. 36-40.
  11. 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: Дизайн Пресс, 2014. С.215 - 224.
  12. Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. 320 с.
  13. Селиванов Р.А. Условия локализации хромового оруденения в ультрамафитовых массивах Рай-Из и Войкаро-Сыньинский: дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2011. 166 с.
  14. Состояние и использование минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации. Хромовые руды. URL: [http://www.mineral.ru/Facts/russia/156/519/3\\_06\\_cr.pdf](http://www.mineral.ru/Facts/russia/156/519/3_06_cr.pdf)
  15. Федоров Ю.О., Корнев О.В., Короткевич В.А., Цой В.П., Федоров М.Ю., Ковалев П.И. Проблемы и перспективы рентгено-радиометрической сепарации (РРС) // Рентгено-радиометрическая сепарация минерального сырья и техногенных отходов: матер. III Междунар. науч. техн. конф. Екатеринбург, 2007. С. 8-12.
  16. Elci B., Malazgirt A. Turkish progress and recent trends in chrome beneficiation // Mining Turkey Magazine. 2013. Vol.5. URL: [www.miningturkeymag.com](http://www.miningturkeymag.com)
  17. 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.
  18. 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.
  19. Yorukoğlu A., Delibaş O. Mineral potential of Turkey // Mining Turkey Magazine. 2012. Vol.2. URL: [www.madencilik-turkiye.com](http://www.madencilik-turkiye.com)

## About the Problem of Practical Using of the Disseminated Chrome Ores from the Saksey-Klyuchevskaya Area of the Sredny Kraka Massif (the Southern Urals)

D.E.Saveliev<sup>a</sup>, I.Ya.Ilaltdinov<sup>b</sup>, E.A.Bazhin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institute of Geology, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 16/2 Karl Marx Str., Ufa 450077, Russia. E-mail: [sav171@mail.ru](mailto:sav171@mail.ru)

<sup>b</sup>Perm State University (PSU), 15 Bukireva Str., Perm, 614990, Russia. E-mail: [ildar.ilaltdinov@psu.ru](mailto:ildar.ilaltdinov@psu.ru)

This article presents the results of study of the structural and textural characteristics and laboratory experiments on beneficiation of the disseminated chrome ores. Despite the low content of chrome oxide in the ore from Saksey-Klyuchevskaya area of deposit (5-10% average), the contrast textural nature of mineralization allowed using at the beginning stage of beneficiation the X-ray-radiometric separation to produce lumps intermediate concentrate (-100 +50 mm) of 18% of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> weighted average content. After grinding and deep gravity concentration with spiral separators, it is possible to get headings with over 40% of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Key words: *chrome ore, concentration, X-ray radiometric separation, Kraka, the Southern Urals.*

## References

1. Grishin N.N., Rakaev A.I., Belogurova O.A., Morozova T.A. 2004. Pervichnaya obrabotka khromitovykh rud i rudopodgotovka otkhodov dlya proizvodstva ogneupornykh materialov [Primary processing of the chromite ore and preparation of wastes for production of the firebrick]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 4: 98-106. (in Russian)
2. Entaltsev E.V., Tsypin E.F., Fedorov A.Yu. 2006. O predposylkakh rentgeno-radiometricheskogo obogashcheniya khromitovykh rud [About feasibility of X-Ray-radiometric beneficiation of chromite ores]. *Materialy Uralskoy gorno-promyshlennoy dekady, Yekaterinburg*, pp. 134-135. (in Russian)
3. Kameneva E.E., Rukhlenko E.D., Andronov G.P. 2014. Osobennosti sostava i flotiruемости forsterita Kovdorskogo mestorozhdeniya [Particularities of composition and flotation capability of forsterite of the Kovdor deposit]. *Obogashchenie rud*. 3: 42-47. (in Russian)
4. Kobzev A.S. 2013. Napravleniya razvitiya i problemy radiometricheskikh metodov obogashcheniya [Perspectives of development and problems of radiometric methods of beneficiation]. *Obogashchenie rud*. 1: 13-17. (in Russian)
5. Krapivskiy E.I. 2014. Oblasti primeneniya radiometricheskikh metodov predvaritelnogo obogashcheniya rud [Application areas of radiometric methods of ore beneficiation]. *Obogashchenie rud*. 1: 16-19. (in Russian)
6. Mashkovtsev G.A. 2007. Sovremennoe sostoyanie mineralno-syryevoy bazy otechestvennoy metallurgii [Nowadays state of mineral resources for domestic metallurgy]. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 5: 16-25. (in Russian)
7. Novikov V.V., Rudakov V.V. 2014. Radiometricheskie tekhnologii na styke gornogo i obogatitel'nogo peredelov [Radiometric technologies at the boundary between mining and processing]. *Obogashchenie rud*. 4: 8-13. (in Russian)
8. Reestr khromitovykh mestorozhdeniy v alpinotipnykh giperbazitakh Urala [Registry of deposits in the alpinotype hyperbasic rocks of Urals]. Ed. Perevozchikov B.V., Perm, 2000, p. 474. (in Russian)
9. Saveliev D.E., Bazhin E.A. 2015. Sostav i teksturnye osobennosti vkraplennykh khromovykh rud Saksey-Klyuchevskoy ploshchadi (massiv Sredniy Kraka, Yuzhnyy Ural) [Composition and textural features of disseminated chrome ores of Saksey-Klyuchevskaya field (Sredniy Kraka massif, Southern Urals)]. *Izvestiya AN RB. Geologiya*. 21: 83-95. (in Russian)
10. Saveliev D.E., Snachev V.I. 2012. Bedno-vkraplennyye khromovyye rudy Yuzhnogo Urala i perspektivy ikh prakticheskogo ispolzovaniya [Poorly disseminated chrome ores of Southern Urals and perspectives of their practical use]. *Rudy i metally*. 2: 36-40. (in Russian)
11. Saveliev D.E., Ilaltdinov I.Ya., Bazhin E.A. 2014. Perspektivy osvoeniya vkraplennykh khromovykh rud Sakseyskogo uchastka (massiv Sredniy Kraka, Yuzhnyy Ural) [Perspectives of development of disseminated chrome ores of Sakseyskiy area (Sredniy Kraka massif, Southern Urals)]. *Geologicheskii sbornik*. 11: 215 - 224. (in Russian)
12. Saveliev D.E., Snachev V.I., Savelieva E.N., Bazhin E.A. 2008. Geologiya, petrogeokhimiya i khromitonosnost gabbro-giperbasitovykh massivov Yuzhnogo Urala [Geology, petrogeochemistry and chromitiferousness of gabbro-hyperbasic massifs of the Southern Urals]. *DisignPoligrafService, Ufa*, p. 320. (in Russian)
13. Selivanov R.A. 2011. Usloviya lokalizatsii khromovogo rudneniya v ultramafitovykh massivakh Ray-Iz i Voykaro-Syninskiy [Conditions of allocation of the chrome mineralization in Ray-Iz and Voykaro-Syninskiy ultramafic massifs]. *Disser. kand. geol.-min. nauk, Yekaterinburg*, p. 166. (in Russian)
14. *Sostoyanie i ispolzovanie mineralnosyryevykh resursov Rossiyskoy Federatsii* [State and usage of mineral resources of Russian Federation]. *Khromovyye rudy*. URL: [http://www.mineral.ru/Facts/russia/156/519/3\\_06\\_cr.pdf](http://www.mineral.ru/Facts/russia/156/519/3_06_cr.pdf) (last access 02.24.2016)
15. Fedorov Yu.O., Korenev O.V., Korotkevich V.A., Tsoy V.P., Fedorov M.Yu., Kovalev P.I. 2007. Problemy i perspektivy rentgeno-radiometri-cheskoy separatsii (RRS) [Problems and perspectives of the X-Ray radiometric separation]. In *Rentgeno-radiometricheskaya separatsiya mineralnogo syr'ya i tekhnogennykh otkhodov. Materialy III Int. nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Yekaterinburg*, pp. 8-12. (in Russian)

16. *Elci B., Malazgirt A.* 2013. Turkish progress and recent trends in chrome beneficiation. *Mining Turkey Magazine*. 5:46-50.
17. *Murthy Y.R., Tripathy S.K., Kumar C.R.* 2011. Chrome ore beneficiation challenges and opportunities – A review. *Minerals Engineering*. 24(5): 375-380. doi: 10.1016/j.mineng.2010.12.001
18. *Nafziger R.H.* 1982. A review of the deposits and beneficiation of lower-grade chromite. *Journal of the South African Institute of mining and metallurgy*. 82(8):205-226.
19. *Yorukoğlu A., Delibaş O.* 2012. Mineral potential of Turkey. *Mining Turkey Magazine*. 2(2):18-23.