

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВКРАПЛЕННЫХ ХРОМОВЫХ РУД МАССИВОВ КРАКА*

© Д.Е. Савельев,

доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт геологии,
Уфимский научный центр РАН,
ул. Карла Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская Федерация,
эл. почта: savl71@mail.ru

© Е.А. Бажин,

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник,
Институт геологии,
Уфимский научный центр РАН,
ул. Карла Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская Федерация,
эл. почта: bazhin_evgeniy@mail.ru

© И.Я. Илалдинов,

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет,
ул. Букирева, 15,
614990, г. Пермь, Российская Федерация,
эл. почта: ildar.ilaltdinov@psu.ru

Массивы Крака обладают значительными ресурсами вкрапленных хромовых руд. Оруденение сосредоточено на трех основных хромитоносных площадях массивов Среднего и Южного Крака. Недостаточно изучено распространение хромититов на глубину и обогатимость сырых руд гравитационными и рентгено-радиометрическими методами. Основной целью настоящего исследования являлась оценка перспектив получения из низкоградных исходных руд качественных кусковых и мелкозернистых концентратов.

В настоящее время основные отечественные запасы хромовых руд металлургического типа сосредоточены на четырех месторождениях: Аганозерском, Сопчеозерском, Центральном и Западном. Большая часть руд по содержанию оксида хрома и отношению Cr/Fe относится к низкоградным и требуют обогащения, в котором ведущая роль принадлежит гравитационным методам. Для мировой практики в целом также характерно снижение кондиций хромовых руд, которое связано с истощением богатых месторождений и с переходом к извлечению запасов с больших глубин. В связи с этой тенденцией, большое значение приобретают исследования по обогащению низкоградных хромовых руд, увеличению извлекаемости полезных компонентов из хвостов обогащения и отвалов, а также по комплексному использованию руд.

В статье представлены результаты моделирования кусковых концентратов и лабораторных экспериментов по гравитационному обогащению вкрапленных хромовых руд трех перспективных площадей (Саксей-Ключевской, Апшакской и Мало-Башартовской). Показано, что довольно высокая контрастность оруденения позволяет применить на начальной стадии обогащения рентгено-радиометрическую сепарацию с получением кускового (-100 +50 мм) промежуточного продукта со средневзвешенным содержанием соответственно 18–22,7–37,5 мас. % Cr₂O₃. При проведении лабораторных исследований по гравитационному обогащению сырых руд наилучшие результаты были получены для месторождений Шатран, Малый Башарт, Придорожное и рудопроявления Ключевское: мелкозернистые концентраты винтовой сепарации содержат 42–53% Cr₂O₃ при отношении Cr/Fe более 2,5.

Ключевые слова: ультрамафиты, офиолиты, дуниты, хромовые руды, обогащение, рентгено-радиометрическая сепарация, винтовая сепарация, Шатран, Башарт, Крака, Южный Урал

© D.E. Savelyev¹, E.A. Bazhin¹, I.Ya. Ilaltdinov²

ON THE PROSPECTS FOR PRACTICAL USE OF DISSEMINATED CHROME ORES FROM THE KRAKA MASSIF

¹ Institute of Geology,
Ufa Scientific Centre,
Russian Academy of Sciences,
16/2, ulitsa Karla Marksa,
450077, Ufa, Russian Federation,
e-mail: savl71@mail.ru

² Perm State National Research University,
15, ulitsa Bukireva,
614990, Perm, Russian Federation,
e-mail: ildar.ilaltdinov@psu.ru

The Kraka Massif possesses considerable resources of disseminated chrome ores concentrated in three main chrome-bearing areas of the southern and central Kraka blocks. Since ore distribution in-depth and the possibility of raw ore dressing have not been studied enough, the aim of this study is to estimate the prospects for making high-quality lumpy and fine-grained concentrates from low-grade original raw ores.

Nowadays, the main domestic metallurgical-type chrome ore reserves are confined primarily to four deposits. These are Aganozerskoe, Sopcheozerskoe, Tsentralnoe and Zapadnoe. Most of them are low-grade according to the average value of Cr₂O₃ and Cr/Fe ratio, so they should be subjected to dressing procedures using gravitational methods for the most part. The decline in ore grades is also typical for

*Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ «р_поволжье_а №14-05-97001» и темы Госконтракта «Модель образования месторождений хрома в офиолитовых комплексах Южного Урала».

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 LiF 220, на аналитической линии хрома $K\alpha_1$. Предел обнаружения при измерении Cr_2O_3 составлял 0,1%.

Геологическое строение. В пределах *Саксей-Ключевской площади* известны Ключевское рудопроявление, Саксейское и Шатранское месторождения бедновкрапленных руд (рис. 1). На всех объектах 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 составляет от 2,5 до 10 м. Прогнозные ресурсы составляют около 15 млн тонн при среднем содержании 5–11% Cr_2O_3 . (Шумихин, Радченко, 1979 г.).

мититов в рассланцованных серпентинитах (Фарафонтьев, 1937 г.; Ключихин и др., 1969 г.; Сначев и др., 2000 г.; Филонов, Быкова, 2001 г.). В результате тематических работ 2002–2004 гг. в северной части площади были выявлены месторождения бедновкрапленного типа Лактыбаш, Придорожное и рудопроявление Ситновское (Сначев, Савельев, 2003 г.; 2004 г.) [8; 14].

Месторождение Лактыбаш расположено на южном склоне хребта Ашкаровские горы. Оруденение на объекте приурочено к телу сильно серпентинизированных дунитов мощностью от 50 до 100 м (рис. 2 А). Хромовые руды в пределах месторождения представлены большей частью неравномерным, средневкрапленным типом средне- и крупнозернистого сложения. Они образуют несколько прерывистых лентукулярных тел с простиранием $250\text{--}300^\circ$. Оруденение прослежено с поверхности канавами на расстоянии более 150 м. Мощность рудных тел варьирует в пределах 0,2–0,6 м при среднем содержании Cr_2O_3 15–20%.

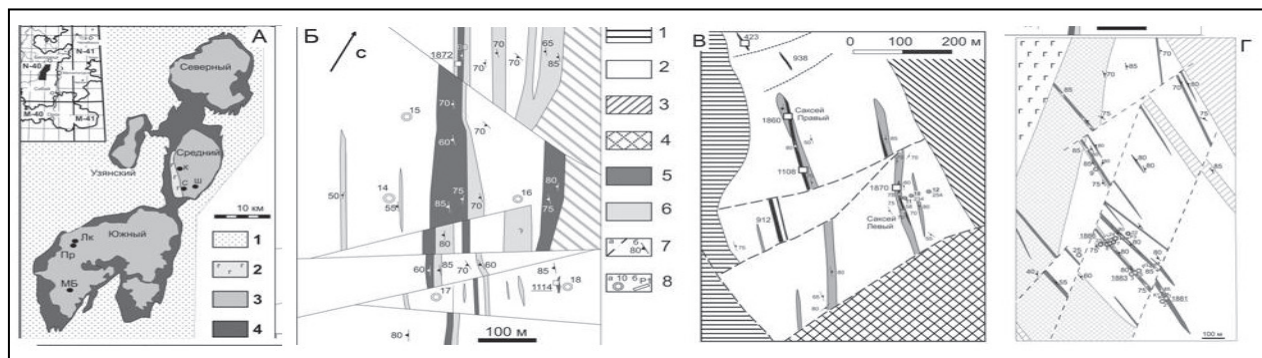


Рис. 1 Строение месторождений и рудопроявлений хромовых руд Саксей-Ключевской площади массива Средний Крака. По Е.А. Шумихину, В.В. Радченко (1979 г.) с изменениями авторов:

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)

В пределах *Апшакской площади*, расположенной в северо-западной части массива Южный Крака, до начала 2000-х годов был известен ряд рудопроявлений вкрапленных хромовых руд, приуроченных к дунитовым телам среди гарцбургитов и несколько небольших месторождений массивных хро-

Месторождение Придорожное представляет собой рудную зону длиной около 200 м, залегающую в дунитах, ширина зоны изменяется от 2 до 15 м (рис. 2 Б). Простирание субширотное ($280\text{--}300^\circ$), падение почти вертикальное ($75\text{--}80^\circ$ на север). Мощность отдельных жил хромититов

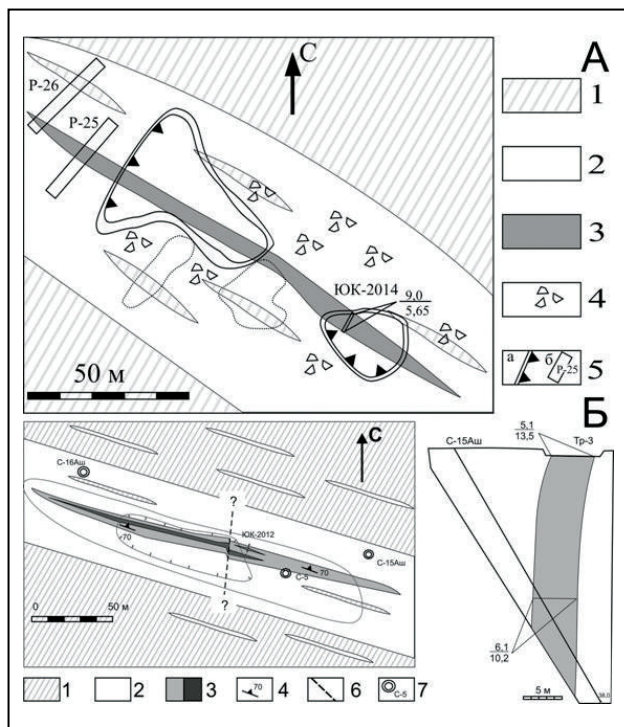


Рис. 2. Геологическое строение месторождений Апшакской площади: А – Лактыбаш, Б – Придорожное (слева – план, справа – поперечный разрез):

А: 1 – шпинелевые перидотиты серпентинизированные; 2 – дуниты серпентинизированные; 3 – рудная зона; 4 – свалы; 5 а – границы технологических выемок, 5 б – каналы и траншеи и их номера.
 Б: 1 – апоперидотитовые серпентиниты, реже – перидотиты; 2 – дуниты серпентинизированные и апоперидотитовые серпентиниты; 3 – рудная зона: а – 5–15% Cr_2O_3 , б – более 15% Cr_2O_3 ; 4 – элементы залегания рудной полосчатости; 6 – разрывное нарушение; 7 – скважины и их номера

внутри зоны изменяется от 0,05 до 0,3 м, прослой пустых пород (дунитов) составляют от 0,1–0,2 м до 7–8 м.

Мало-Башарттовская площадь расположена в юго-западной части массива Южный Крака между горами Башарт на севере и Акбиик на юге. Данная территория преимущественно сложена шпинелевыми перидотитами, среди которых обнажается несколько параллельных дунитовых тел северо-западного простирания, включающих тела хромитов. Здесь известны два месторождения – им. Менжинского и Малый Башарт, открытые в 1930-е годы (Тиховидов, 1932 г.; Фарафонтьев, 1937 г.) и ряд более мелких рудопроявлений: Муромцево, Бала-Елга, Асю.

На месторождении Малый Башарт (участки III–VI) оруденение представлено серией параллельных прерывистых жил

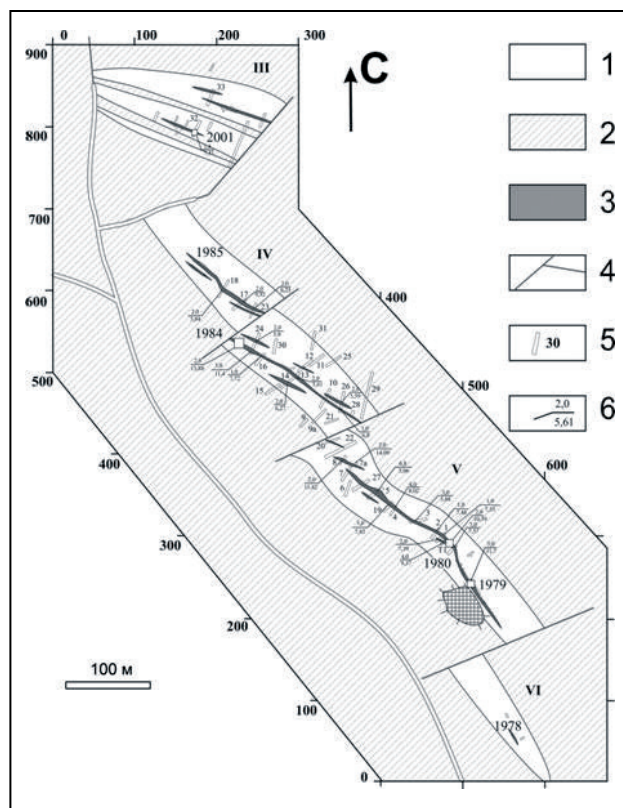


Рис. 3. Геологическое строение месторождения Малый Башарт (участки III–IV):

1 – дуниты; 2 – шпинелевые перидотиты; 3 – рудные тела; 4 – разрывные нарушения; 5 – каналы и их номера; 6 – в числителе – мощность рудной зоны в метрах; в знаменателе – содержание Cr_2O_3 в мас.%

вкрапленных хромитов, образующих рудную зону, залегающую согласно контактам тела вмещающих дунитов и пироксеновой полосчатости в окружающих гарцбургитах (рис. 3). В северо-западной части простирание плоскостных структурных элементов широтное, в этой части в дунитах присутствуют многочисленные уплощенные включения гарцбургитов, южнее простирание сменяется на северо-западное.

На месторождении развиты тела хромитов мощностью от 0,1 до 0,4 м, в строении их преобладают густовкрапленные разновидности с содержанием Cr_2O_3 30–40%. В отдельных случаях встречаются зоны с бедной вкрапленностью мощностью до 1,5 м. Ранее отработаны наиболее богатые части рудных тел (участки IV и V), где мощность густовкрапленных и массивных хро-

мититов достигала 1 м. Хромититовые тела имеют субвертикальное падение на северо-западном фланге месторождения (участок III), в центре простираются тела северо-западное (290–300°) и крутое падение на юго-запад (участки IV и V).

Результаты работ. Результаты анализа бороздовых проб Саксей-Ключевской площади приведены в таблице 1, из которой следует, что в среднем по хромитоносным зонам оруденение бедное, полученные цифры согласуются с данными Е.А. Шумихина и В.В. Радченко (1979 г.). 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.

По данным анализа кусков хромовых руд фракции –100+50 мм была составлена гистограмма (рис. 4), на которой виден интенсивный максимум в интервале составов 10–20% Cr_2O_3 (50,6% от общего количества), отвечающих типам редко- и средневкрапленных руд по классификации Б.В. Перевозчикова [15]. По распространенности затем следуют убоговкрапленные руды с содержанием 5–10% Cr_2O_3 (16,8% от общего количества) и средне-густовкрапленные с содержанием 20–30% Cr_2O_3 (22,1% от общего количества). Весьма редко встречаются относительно богатые руды с содержанием выше 30% Cr_2O_3 (10,7% от общего количе-

ства). 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 [16], при РРС вкрапленных хромовых руд можно реализовать достаточно низкие пороги сортировки. В случае сортировки сырой руды с нижним порогом 5% Cr_2O_3 среднее содержание в кусковом концентрате поднимется до 18,2%.

В таблице 2 приведены данные бороздового опробования объектов Апшакской

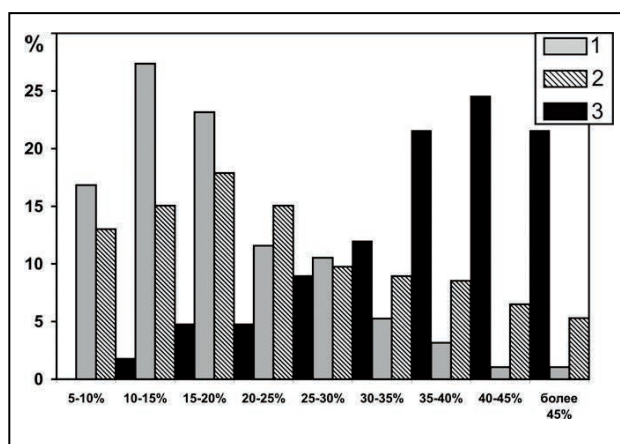


Рис. 4. Распределение содержаний Cr_2O_3 в предполагаемом кусковом концентрате из месторождений и рудопроявлений хромитоносных площадей массивов Крака:

1 – Саксей-Ключевская площадь ($n=95$);
2 – Апшакская площадь ($n=246$); 3 – Мало-Башартовская площадь ($n=167$)

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

№ п/п	№ пробы	Объект	Cr_2O_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 рентгено-флуоресцентным методом (VRA-30) в Институте геологии УНЦ РАН (аналитики С.В. Мичурин, А.М. Мусина, Ф.Р. Валиева).

площади (Придорожное, Лактыбаш). Гистограмма (рис. 4) имеет сглаженную форму с широким максимумом для хромовых руд с содержанием оксида хрома от 10 до 25% (48% от общего количества образцов). По сравнению с рассмотренными выше рудами Саксей-Ключевской площади, здесь более значительную роль играют средне- и густовкрапленные хромититы, в которых содержание Cr_2O_3 составляет >25% (39% от общего количества) и несколько менее распространены убоговкрапленные руды (5–10% Cr_2O_3) – 13 % от общего количества.

На ДОФ «Ашкарка» компанией ООО «ГДК Хром» была опробирована схема

обогащения кускового концентрата фракции –100+50 мм на РРС на низких порогах полезного компонента (около 5–7%) с дальнейшим тонким гравитационным обогащением полученного промежуточного продукта. Работы проводились на материале месторождения Лактыбаш и рудопроявления Придорожное и дали положительный эффект. В результате РРС получен промежуточный продукт с содержанием оксида хрома 10–12%. После измельчения и гравитационного обогащения на концентрационных столах получен тонкий концентрат с содержанием Cr_2O_3 45–48%. (Т.Ф. Меньшикова). Опробование объектов Мало-Башар-

Таблица 2 – Содержание оксида хрома в борздовых пробах хромовых руд Апшакской площади

№ п/п	№ пробы	Объект	Cr_2O_3 , %	Длина борозды, м
1	ЮК-2014-1Б	Лактыбаш	5,55	9,0 м
2	Тр-4	Придорожное	7,62	5,1
3	Тр-3	Придорожное	8,3	7,7
4	Тр-6	Придорожное	6,81	5,7
5	ТР-11	Придорожное	8,2	11,5
6	Тр-7	Придорожное	10,58	4,5
7	Тр-8	Придорожное	6,46	2,6
8	Тр-8	Придорожное	7,02	2,0

Примечание – 1 – анализ выполнен рентгено-флюоресцентным методом (VRA-30) в Институте геологии УНЦ РАН (аналитики С.В. Мичурин, А.М. Мусина, Ф.Р. Валиева; 2–8 – данные из отчета (Сначев, Савельев, 2003 г.).

Таблица 3 –Содержание оксида хрома в борздовых пробах хромовых руд Мало-Башартовской площади

№ п/п	№ пробы	Объект	Cr_2O_3 , %	Длина борозды, м
1	ЮК-1979-Б	Малый Башарт, уч.5	11,7	3,0
2	ЮК-1980-Б	Малый Башарт, уч.5	10,39	2,0
3	ЮК-1984-Б	Малый Башарт, уч.4	13,88	2,0
4	ЮК-1991-Б	им. Менжинского	17,5	2,0
5	ЮК-1999-Б	Муромцево	11,34	2,0
6	ЮК-2001-Б	Малый Башарт, уч-3	7,31	1,4

Примечание – Анализы выполнены рентгено-флюоресцентным методом (VRA-30) в Институте геологии УНЦ РАН (аналитики С.В. Мичурин, А.М. Мусина, Ф.Р. Валиева).

товской площади показало, что в них распределение полезного компонента резко отличается от такового рассмотренных выше площадей (табл. 3; рис. 4). Гистограмма имеет резкий максимум в правой части, в области высоких содержаний оксида хрома: сплошные и густовкрапленные руды с содержанием Cr_2O_3 более 35% во фракции $-100+50$ мм составляют 67,7% от общего количества, а остальная часть представлена средневкрапленными хромититами (от 15 до 35% Cr_2O_3), бедновкрапленные разновидности практически отсутствуют.

Обогащение проб на лабораторном винтовом шлюзе ВШ-5 показало положительную корреляцию состава исходной пробы и концентрата. При этом значимых различий между результатами обогащения фракций $-1,0$ мм и $-0,5$ мм не отмечается. На объ-

ектах Саксей-Ключевской площади лучшие показатели по обогатимости получены для вкрапленных хромититов Ключевского проявления и Шатранского месторождения (табл. 4).

В обоих вариантах (фракции $-1,0$ мм и $-0,5$ мм) содержание Cr_2O_3 в концентрате составило 38,34–42,75% при достаточно сильной вариации выхода концентрата (6–12%) и извлечения полезного компонента (39,44–68,0%). Значительно более низкие содержания Cr_2O_3 получены в концентратах участка Саксейского месторождения (24,17–38,11%), выход концентрата варьирует в пределах от 7,92% до 15,42%, а извлечение Cr_2O_3 составляет 31,51–63,45%. В хвостах обогащения вкрапленных руд Саксей-Ключевской площади содержание оксида хрома варьирует от 1,8 до 4,8%.

Таблица 4 – Результаты гравитационного обогащения проб вкрапленных хромовых руд Саксей-Ключевской площади

№ п/п	№ пробы	Объект	Cr_2O_3 в исходной пробе, мас. %	Выход концентрата, мас. %	Cr_2O_3 в концентрате, мас. %	Извлечение Cr_2O_3 , %
1	СК-1870-1	Саксей Левый	4,55	7,58	43,55	72,51
2	СК-1108-1	Саксей Правый	7,07	12,28	37,27	64,74
3	СК-423-1	точка 423	6,52	7,92	31,06	37,72
4	СК-1872-1	Шатран	5,83	6,00	43,79	45,05
5	СК-1114-1	Шатран	8,10	9,61	48,51	57,55
6	СК-1881-1	Ключевское	7,98	9,49	47,06	55,97
7	СК-1870-2	Саксей Левый	4,55	12,76	26,05	73,01
8	СК-1108-2	Саксей Правый	7,07	14,35	29,24	59,37
9	СК-423-2	точка 423	6,52	15,42	30,48	72,07
10	СК-1872-2	Шатран	5,83	9,10	44,46	69,42
11	СК-1114-2	Шатран	8,10	12,89	48,32	76,86
12	СК-1881-2	Ключевское	7,98	10,92	47,72	65,31
13	СК-1860-ПП1	Саксей Правый	13,00	14,70	42,52	48,08
14	СК-1860-ПП2	Саксей Правый	26,40	35,36	47,7	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 (данные 2014 г.).

Практически из всех проб Мало-Башартовской площади концентраты характеризуются высоким содержанием Cr_2O_3 (42,69–53,0%) при сильно изменяющемся выходе концентрата (8,25–20,23%) и извлекаемости полезного компонента от 43,38% до 65,11% (табл. 5).

Для месторождения Лактыбаш содержание Cr_2O_3 в концентрате составило

33,53–35,18% при выходе 8,74–11,78% и извлечении 52,78–74,66%. Отношение Cr/Fe в концентратах составляет 2,5–4, в хвостах обогащения содержание оксида хрома варьирует от 1,8 до 4,8%.

Выводы. Моделирование кускового концентрата месторождений массива Средний Крака показало, что на предварительной стадии обогащения, используя метод рентгено-

Таблица 5 – Результаты гравитационного обогащения проб вкрапленных хромовых руд Мало-Башартовской и Апшакской площадей

№ п/п	№ пробы	Объект	Cr_2O_3 в исходной пробе, мас. %	Выход концентрата, мас. %	Cr_2O_3 в концентрате, мас. %	Извлечение Cr_2O_3 , %
1	ЮК-1991-Б (01)	им. Менжиского	17,50	18,52	48,90	51,75
2	ЮК-2001-Б (01)	Малый Башарт-III	7,31	8,25	42,69	48,19
3	ЮК-1979-Б (03)	Малый Башарт-V	11,65	13,14	53,00	59,78
4	ЮК-1984-Б (01)	Малый Башарт-IV	13,88	14,78	51,10	54,41
5	ЮК-1980-Б (01)	Малый Башарт-IV-V	10,39	9,13	49,34	43,38
6	ЮК-2014-1Б (03)	Лактыбаш	5,55	8,74	33,53	52,78
7	ЮК-1991-Б (02)	им. Менжиского	17,50	20,23	47,21	54,57
8	ЮК-2001-Б (02)	Малый Башарт-III	7,31	9,10	43,91	54,68
9	ЮК-1979-Б (02)	Малый Башарт-V	11,65	15,70	46,33	62,43
10	ЮК-1984-Б (02)	Малый Башарт-IV	13,88	14,96	51,72	55,76
11	ЮК-1980-Б (02)	Малый Башарт-IV-V	10,39	9,79	51,31	48,38
12	ЮК-1999-6 (02)	Муромцево	11,34	16,09	45,92	65,11
13	ЮК-2014-1Б (02)	Лактыбаш	5,55	11,78	35,18	74,66

Примечание – 1–6 – фракция –1,0 мм (отмученная); 7–13 – фракция – 0,5 мм.

радиометрической сепарации, из бедных руд со средним содержанием 5–7% Cr_2O_3 можно получить промежуточный продукт фракции –100+50 мм со средним содержанием 18% Cr_2O_3 с минимальными потерями полезного компонента. При проведении лабораторных исследований по гравитационному обогащению тех же руд наилучшие результаты были получены для Шатранского месторождения и рудопроявления Ключевское: мелкозернистые концентраты винтовой сепарации содержат 42–48% Cr_2O_3 при отношении Cr/Fe более 2,5. Выход концентрата, в зависимости от качества «питания», варьирует от 6 до 35%, а извлечение полезного компонента составляет 37–76%.

Исследования по обогащению вкрапленных руд Апшакской площади массива Южный Крака (5–15% Cr_2O_3) показали, что среднее содержание Cr_2O_3 в промежуточном

продукте из объектов этого типа составляет 22,65%. Глубокое обогащение на винтовом шлюзе позволяет повысить содержание в мелкозернистом концентрате до 40% Cr_2O_3 , а при полупромышленном обогащении на концентрационных столах был получен концентрат с содержанием 48% Cr_2O_3 .

Моделирование кускового концентрата на месторождениях Мало-Башартовской площади массива Южный Крака показало наилучшие результаты: среднее содержание оксида хрома в нем составило 37,5%, что позволяет при разработке данных объектов ограничиться только кусковой рентгено-радиометрической сепарацией. В мелкозернистых концентратах винтового шлюза из разубоженных бороздовых проб (7,31–17,5% Cr_2O_3) содержание Cr_2O_3 составило 42–53 %, при этом выход концентрата – 8–20%, извлечение полезного компонента – 43–74%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Состояние и использование минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации. Хромовые руды [Электронный ресурс] // Информационно-аналитический центр «Минерал». М., 2017. URL: http://www.mineral.ru/Facts/russia/156/519/3_06_cr.pdf.

2. Первичная переработка хромитовых руд и рудоподготовка отходов для производства огнеупорных материалов / Н.Н. Гришин, А.И. Ракаев, О.А. Белогурова, Т.А. Морозова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2004. № 4. С. 98–106.

3. 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.

4. 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.

5. Yorukoğlu A., Delibaş O. Mineral potential of Turkey // Mining Turkey Magazine. 2012. Vol. 2. No 2. P. 18–23.

6. Elce B., Malazgirt A. Turkish progress and recent trends in chrome beneficiation // Mining Turkey Magazine. 2013. Vol. 5. P. 46–50.

7. Савельев Д.Е., Сначев В.И. Бедно-

вкрапленные хромовые руды Южного Урала и перспективы их практического использования // Руды и металлы. 2012. № 2. С. 36–40.

8. Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала: монография / отв. ред. В.И. Сначев. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. 320 с.

9. Кобзев А.С. Направления развития и проблемы радиометрических методов обогащения // Обогащение руд. 2013. № 1. С. 13–17.

10. Крапивский Е.И. Области применения радиометрических методов предварительного обогащения руд // Обогащение руд. 2014. № 1. С. 16–19.

11. Проблемы и перспективы рентгено-радиометрической сепарации (PPC)/ Рентгенорадиометрическая сепарация минерального сырья и техногенных отходов / Ю.О. Федоров, О.В. Корнев, В.А. Короткевич, В.П. Цой, М.Ю. Федоров, П.И. Ковалев // Матер. III Междун. науч.-технич. конф., г. Екатеринбург, 2007. С. 8–12.

12. Ентальцев Е.В., Цыпин Е.Ф., Федоров А.Ю. О предпосылках рентгено-радиометрического обогащения хромитовых руд // Матер. Уральской горно-промышленной декады. г. Екатеринбург, 2006. С. 134–135.

13. Новиков В.В., Рудаков В.В. Радиомет-

трические технологии на стыке горного и обога-
тельного переделов // Обогащение руд. 2014. № 4.
С. 8–13.

14. Савельева Е.Н. Хромитоносность габ-
бро-гипербазитовых массивов Крака: дис. ... канд.
геол.-мин. наук. М., 2007. 156 с.

15. Реестр хромитовых месторождений в
альпинотипных гипербазитах Урала / под ред.

Б.В. Перевозчикова. Пермь, 2000. 474 с.

16. Савельев Д.Е., Бажин Е.А. Состав и тек-
стурные особенности вкрапленных хромовых руд
Саксей-Ключевской площади (массив Средний
Крака, Южный Урал) // Геология. Изв. Отд. наук о
Земле и природных ресурсов АН РБ. 2015. № 21.
С. 83–95.

REFERENCES

1. Sostoyanie i ispolzovanie mineralno-
syryevykh resursov Rossiyskoy Federatsii. Khromovye
rud [Conditions and use of mineral resources of
the Russian Federation. Chrome ores] Information-
Analytical Centre "Mineral". Moscow, 2017. Available
at: [http://www.mineral.ru/Facts/russia/156/519/
3_06_cr.pdf](http://www.mineral.ru/Facts/russia/156/519/3_06_cr.pdf) (In Russian).

2. Pervichnaya pererabotka khromitovykh
rud i rudopodgotovka otkhodov dlya proizvodstva
ogneupornykh materialov [Primary processing of
chromite ores and ore tailings preparation for producing
refractory materials]. N.N. Grishin, A.I. Rakaev,
O.A. Belogurova, T.A. Morozova. Fiziko-tekhnicheskie
voprosy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Physic-
Technical Problems of Mining, 2004, no. 4, pp. 98–
106 (In Russian).

3. Murthy Y.R., Tripathy S.K., Kumar C.R. Chrome
ore beneficiation challenges and opportunities:
A review. Minerals Engineering, 2011, vol. 24, pp.
375–380.

4. 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,
pp. 205–226.

5. Yorukoğlu A., Delibaş O. Mineral potential of
Turkey. Mining Turkey Magazine, 2012, vol. 2, pp.
18–23.

6. Else B., Malazgirt A. Turkish progress and
recent trends in chrome beneficiation. Mining Turkey
Magazine, 2013, vol. 5, pp. 46–50.

7. Savelyev D.E., Snachev V.I. Bednovkraplennye
khromovye rudy Yuzhnogo Urala i perspektivy ikh
prakticheskogo ispolzovaniya [Finely disseminated
chrome ores of the South Urals and prospects for their
use]. Rudy i metally – Ores and Metals, 2012, no. 2,
pp. 36–40 (In Russian).

8. Savelyev D.E., Snachev V.I., Savelyeva
E.N., Bazhin E.A. Geologiya, petrogeokhimiya i
khromitonosnost gabbro-giperbazitovykh massivov

Yuzhnogo Urala [Geology, petrogeochemistry and
chromite ore potential of the gabbro-hyperbasite
massifs of the South Urals]. Monograph. V.I. Snachev
(ed.). Ufa, 2008. 320 p. (In Russian).

9. Kobzev A.S. Napravleniya razvitiya i problemy
radiometricheskikh metodov obogashcheniya
[Development trends and problems of radiometric
ore dressing methods]. Obogashchenie rud – Ore
Dressing, 2013, no. 1, pp. 13–17 (In Russian).

10. Krapivskiy E.I. Oblasti primeneniya
radiometricheskikh metodov predvaritelnogo
obogashcheniya rud [Application areas of radiometric
methods of primary ore dressing]. Obogashchenie rud
– Ore Dressing, 2014, no. 1, pp. 16–19 (In Russian).

11. Problemy i perspektivy rentgeno-
radiometricheskoy separatsii (RRS). Rentgenoradiometricheskaya separatsiya mineralnogo
syrya i tekhnogennykh otkhodov [Problems and
prospects of X-ray radiometric separation (XRS). X-ray
radiometric separation of mineral raw materials and
technogenic waste]. Yu.O. Fedorov, O.V. Korenev,
V.A. Korotkevich, V.P. Tsoy, M.Yu Fedorov, P.I. Kovalev.
Proceedings of the 3rd International Science and
Technology Conference. Ekaterinburg, 2007, pp. 8–12
(In Russian).

12. Entaltsev E.V., Tsy-pin E.F., Fedorov A.Yu.
O predposylkakh rentgeno-radiometricheskogo
obogashcheniya khromitovykh rud [On preconditions
for radiometric chrome ore dressing]. Proceedings of
the Ural Mining and Industrial Decade. Ekaterinburg,
2006, pp. 134–135 (In Russian).

13. Novikov V.V., Rudakov V.V. Radiometricheskie
tekhnologii na styke gornogo i obogatitelnogo
peredelov [Radiometric technologies at the
intersection of mining and dressing stages].
Obogashchenie rud – Ore Dressing, 2014, no. 4, pp.
8–13 (In Russian).

14. Savelyeva E.N. Khromitonosnost gabbro-
giperbazitovykh massivov Kraка [Chromite-bearing
potential of gabbro-hyperbasite massifs of Kraка].

PhD Tesis in Geology and Mineralogy. Moscow, 2007. 156 p. (In Russian).

15. Reestr khromitovykh mestorozhdeniy v alpinotipnykh giperbazitakh Urala [List of chromite-bearing deposits in Alpine-type hyperbasites of the Urals]. B.V. Perevozchikov (ed.). Perm, 2000. 474 p. (In Russian).

16. Savelyev D.E., Bazhin E.A. Sostav i teksturnye osobennosti vkraplennykh khromovykh rud Saksey-

Kluhevskoy ploshchadi (massiv Sredniy Kraka, Yuzhnyy Ural) [Composition and textural features of disseminated chromite ores of Saksey-Klyuchevskaya area (Middle Kraka massif, South Urals)]. Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department for Geosciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2015, no. 21, pp. 83–95 (In Russian).

