

37. Новиков Г.В., Свальнов В.Н., Богданова О.Ю., Сивцов А.В. Ионообменные свойства минералов марганца и железа океанских микроконкреций // Лит. и полез. ископаемые. 2010. № 5. С. 461-476.
38. Новиков Г.В., Батулин Г.Н. Сорбционная активность океанских и морских железомарганцевых конкреций и корок различного химического и минерального составов // Океанология. 1997. Т. 37. №4. С. 525-531.
39. Новиков Г.В., Андреев С.И., Аникеева Л.И. Сорбционная активность железомарганцевых образований океана // Литосфера океана: состав, строение, развитие, прогноз и оценка минеральных ресурсов. СПб.: ВНИИОкеангеология. 1995. С. 291-304.
40. Челищев Н.Ф., Грибанова Н.К., Новиков Г.В. Сорбционные свойства океанических железомарганцевых конкреций и корок. М.: Недра, 1992. 317 с.
41. Новиков Г.В. Модифицированные океанические железомарганцевые конкреции – высокоселективный сорбент металлов // Методы получения и использования модифицированных природных сорбентов. М.: ИМГРЭ, 1988. С. 61-80.
42. Новиков Г.В. К вопросу о формах некоторых элементов в составе океанских железомарганцевых образований (по экспериментальным данным) // Океанология. 1997. Т. 37. № 3. С. 373-380.
43. Новиков Г.В. Модифицированные океанические железомарганцевые конкреции – высокоселективный сорбент металлов // Методы получения и использования модифицированных природных сорбентов. М.: ИМГРЭ, 1988. С. 61-80.
44. Новиков Г.В., Яшина С.В., Михайлов А.В. Сорбционная очистка сточных вод гальванического производства от цветных металлов на океанических конкрециях // Комплексное использование минерального сырья. Алма-Ата. 1992. № 10 С. 62-65.
45. Новиков Г.В. Сорбционная очистка сточных вод гальванического производства от цветных металлов на океанских железомарганцевых корках // Цветная металлургия. 1996. № 2-3. С. 43-49.

К ВОПРОСУ О ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ И ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТИ ХРОМИТОВЫХ РУД КАРЕЛИИ

Кевлич В.И., Кукушкина П.И.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Были изучены технолого-минералогические показатели проб хромитовых руд Аганозерского и Шалозерского месторождений Бураковского массива.

К наиболее информативным генетическим характеристикам руд относятся текстурно-структурные параметры, отражающие не только условия минералообразования, но и оказывающие влияние на выбор крупности дробления руды, определяющие число стадий дробления, степень раскрытия рудных минералов, свойства, глубину обогащения и потери ценного компонента в хвостах [6, 7].

На материале проб с ГХГ (главный хромитовый горизонт) Аганозерского месторождения было проведено определение селективности раскрытия основного рудного минерала в процессах измельчения и влияние на последующую эффективность разделения и выбор крупности для обогащения хромитовых руд. Геолого-минералогическое опробование хромитовых руд Аганозерского месторождения проводилось в пределах ГХГ с учетом основных текстурно-структурных особенностей руд.

В генетическом отношении ГХГ представляет стратиформную залежь, слою которой обособляются в породы, в разной степени обогащенные хромитом. Мощность горизонта 0,27-2,10 м и до 3,10 м. По литологическому составу четко выделяется подошва интервала, проведенная по границе между хромитсодержащими (6,20% Cr_2O_3) апопередотитовыми пойкилитовыми серпентинитами и хромитовыми пироксенсодержащими аподунитовыми серпентинитами. Верхняя граница богатых руд здесь также литологическая. Перекрываются они безрудными апопередотитовыми серпентинитами ($\text{Cr}_2\text{O}_3 - 0.48\%$) [3, 4].

Текстуры руд, слагающих ГХГ, изучались визуально и микроскопически в шлифах и аншлифах и в измельченном материале. Среди основных текстур – ритмично-полосчатая, ветвисто-полосчатая, вкрапленная. Для вкрапленной более подходит термин микротекстуры вследствие малых (0,03-0,2 мм) размеров кристаллов хромита, образующих пойкилитовую вкрапленность в крупных и гигантских (до 10 мм) ойкокристаллах моноклинного пироксена. Структура массивных руд полигональная - дорастания, структура вкрапленных руд - идиоморфнозернистая. Преобладают, однако, руды с вкрапленной микротекстурой.

Основные элементы морфологии хромита – габитус кристаллов октаэдрический, облик для большинства зерен - идиоморфный, а для части - ксеноморфный.

Минеральный состав пробы ГХГ с интервала 0,27 – 2,10 м в весовых % - пироксен - 23,75; хромит - 57,8; серпентин - 17,6; оливин - 0,86; плагиоклаз - 0,17; магнетит - 0,12 и ед. зерна - карбонат, биотит, пирит, кварц, тальк, анатаз, циркон, апатит, сфен, пирротин, рутил, роговая обманка, халькопирит, молибденит, лейкоксен. Минеральный состав пробы с интервала 0,27-3,10 м в весовых % - хромит - 39,77; пироксен - 30,8; серпентин - 28,0; плагиоклаз - 0,3; карбонат - 0,5; магнетит - 0,53 и ед. зерна – карбонат, биотит, пирит, кварц, тальк, анатаз, циркон, апатит, сфен, пирротин, рутил, роговая обманка, халькопирит, молибденит, лейкоксен.

Хромит – главный рудный минерал и гранулометрия хромита в рудах Аганозерского месторождения представлена на рис. 1 по скважинам и пробам, отобранным с ГХГ. Предварительно проба была раздроблена до 15 мм, в дальнейшем проведена и стадия обработки фтористоводородной кислотой. Растворение осуществлялось фтористоводородной кислотой при температуре 22⁰С, что позволило избирательно растворить основную массу породообразующих минералов (пироксен, оливин, серпентин) с частичным присутствием в растворе рыхлых тонкодисперсных образований (силикатные скелеты) и наличием в них точечных включений хромита. Основная масса хромита в растворе находится в виде свободных морфологически неизмененных зерен. По окончании растворения и нейтрализации суспензия фильтровалась. Твердый остаток на фильтре сушился и подвергался разделению в тяжелой жидкости с плотностью 4,07–4,1 г/см³. В легкую фракцию переходил тонкодисперсный силикатный материал, в тяжелую – хромит. Для полного извлечения хромита легкая фракция обрабатывалась в планетарной мельнице в течение 3 мин., подвергалась обработке ультразвуком УЗДН-2Т в течение 5 мин., сушилась и направлялась на разделение в центрифуге. Полученные в результате центрифугирования тяжелые продукты, состоящие из хромита, объединялись с полученными ранее. Весовые данные исходных образцов и полученного хромита позволяют определить содержание хромита, которое находится в пределах 57,4%. Ситовой анализ, как показано на рис. 1, позволяет заключить, что основная масса хромита в исходной руде представлена вкрапленностью с размером 0,2 мм и меньше и составляет 70% от всего хромита в руде. При этом содержание классов крупности хромита для проб из данных точек несколько различно, но вместе с тем существует закономерность – преобладающий класс, в нашем случае – 0,16+0,05 мм, в процентном отношении достигает почти 40% от суммарного выхода классов. В этой связи по размеру минеральных включений хромита руды относятся к мелкозернистым: I – тонкие 0,03–0,05 мм и менее зерна октаэдрического габитуса, часто округлые, в виде включений в оливине.

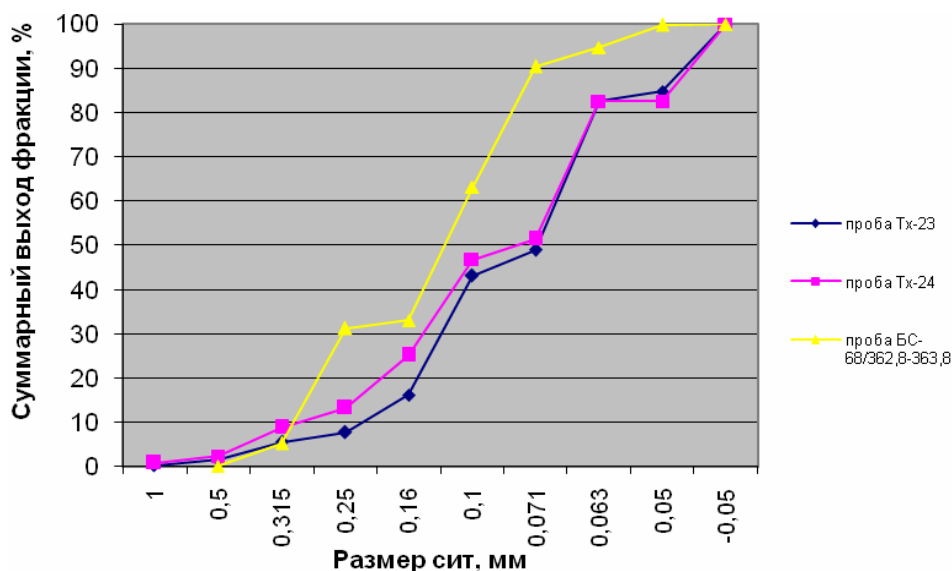


Рис. 1. Природная гранулометрия хромита в пробах ГХГ

II – тонкозернистая 0,06–0,2 мм, густая, с характерной цепочечной структурой вкрапленности. Габитус октаэдрический. Идиоморфные зерна равномерно рассеяны в объеме породы и законсервированы в пойкилитовых кристаллах пироксена. Ксеноморфные зерна выполняют интерстиции.

III – генерация размером 0,2–1 мм и более до 4–5 мм в виде вкрапленников в руде и сплошной агрегатной массой хромита с полигональными очертаниями зерен в виде хорошо образованных эвгидральных кристаллов, проходящих стадию адкумулятивного дорастания и превращаясь в мелко- и среднезернистые агрегаты сплошных хромитовых обособлений в виде неправильных ветвистых линзочек, полосок мощностью 1–7 мм редко до 20 мм и гнезд от 0,5 до 4 мм, образующих маломощные слойки, усложненные поперечно гнездовой прожилковой системой. Характерной особенностью третьей генерации хромита является замена октаэдрического габитуса простой полигональной формой. При этом полигональные зерна хромита окаймлены тонкой карбонат-серпентиновой рубашкой. На гранях следы роста, зоны закалки, вмятины, отпечатки, микротрещинки, залеченные нерудным веществом, порой магнетитом.

Морфогенетические и структурные особенности хромитов формируют типы и взаимоотношения сростаний, что характеризует пространственно-временные связи хромита с основными минералами и позволяет решать вопрос об эффективности раскрытия минералов в процессах дробления–измельчения. По морфологии и размерам зерен хромита можно выделить следующие группы сростаний:

- идиоморфные – с прямыми границами сростания,
- ксеноморфные – с извилистыми границами сростаний,

- пойкилитовые - сложность границ этих сростаний связана не просто с контактом двух минералов, а с проникновением зерен одного минерала (хромита) в другой.

Для разработки оптимальной схемы рудоподготовки важен учет выше изложенных факторов: размерность зерен, границ сростаний, степени концентрации включений в зерне. В этой связи раскрытие первой генерации хромита с размером менее 0,03-0,05 мм, присутствующего в виде включений в оливине, представляется весьма сложной и нерентабельной операцией.

Учитывая, что на результаты обогащения руд существенное влияние оказывает крупность сепарируемого материала, что обусловлено изменением величин, качеством и направлением действующих сил в процессе разделения минералов, следует рассмотреть и роль шламующихся минералов в процессах измельчения – серпентинов и пироксенов, имеющих низкую твердость и среднюю до совершенной спайность.

Серпентин. Серпентин в пробах ГХГ отличается цветом, строением, а неоднородность серпентина наблюдается даже в пределах одного зерна. Преобладает серпентин желтого, желтовато-зеленого, зеленого цветов, реже коричневые, красновато-коричневые, голубоватые и бесцветные зерна. Показатели преломления независимо от цвета $N_g = 1.550-1.570$ реже 1,580, $N_p = 1.540-1.560$, что соответствует лизардиту и антигориту. Волокнистая разновидность – хризотил-асбест - имеет цвет от коричневого до бесцветного. Показатели преломления у хризотилов красновато-коричневого цветов $N_g = 1.533-1.525$, у хризотилов желтоватых и бесцветных $N_g = 1.545-1.535$. Твердость серпентинов от 2,5-3,5. Для серпентинов в пробах характерны разнообразные структуры: решетчатая, петельчатая, листоватая, пламенивидная, волокнистая, встречаются структуры песочных часов. Наблюдаются псевдоморфозы серпентина по пироксенам - бастит желтого и зеленых цветов. Встречается серпентин желтоватого, белого цветов, опаловидный (эмалевидный) - серпофит, в тесном сростании с ним зерна схожие с опалом, который развивается по серпентину.

Содержание серпентина в рудах ГХГ заметно колеблется от 8,28 до 68,99%, а в представленных на изучение пробах соответственно 17,60 и 28,0% серпентина. Наряду с преобладающими включениями хромита размером от 1,5 мм до 0,2 мм и менее в серпентине присутствуют реликты оливина, сульфидов (пирит, пирротин), карбоната, плагиоклаза и микроскопически тонкораспыленный магнетит, развивающиеся по ослабленным зонам и дефектам зерен.

Пироксены. В пробах хромитовых руд ГХГ присутствуют два пироксена, которые выделяются в качестве кумулятивной, гетерадкумулятивной фаз, при одновременном дорастании кумулятивных зерен пироксена. Среди пироксенов ГХГ встречаются ортопироксен (типа бронзит от 0,18 до 59,67%) с показателями преломления $N_g = 1.670$ и $N_p = 1.660$, клинопироксен (типа диопсид от 2,53 до 26,52%) с показателями преломления $N_g = 1.695$ и $N_p = 1.675$. В более поздних пироксенах (ранние кристаллизовались из магмы) включения хромита почти отсутствуют или располагаются тонкими жилками, пятнами, полосками в краевых частях зерен, а ранние пироксены насыщены тонкой хромитовой вкрапленностью. По составу метасоматический (поздний) пироксен близок к первичным клинопироксенам. В измельченном материале клинопироксен присутствует в виде идиоморфных зерен, обломочных и тонкопластинчатых форм, образовавшихся в результате интеркристаллитного и транскристаллитного раскрытия в процессах дробления и измельчения. Размеры зерен пироксена от 2-5 мм до нескольких сантиметров. Поверхность зерен неровная, со следами штриховки. Цвет пироксена зеленый до изумрудно-зеленого, порой буроватый, что обусловлено присутствием гидроокислов на поверхности. По спайности и микротрещинкам в клинопироксенах отмечается присутствие серпентина. Для клинопироксена характерной особенностью является тесная ассоциация с хромитом, идиоморфные зерна которого размером 0,05-0,2 мм и менее находятся в нем в виде включений, занимающие 2/3 площади зерна пироксена, а порой представляющие сплошные хромитовые агрегаты, сцементированные пироксеновым веществом.

Ортопироксен - зеленовато-желтого цвета, порой с буроватым оттенком. Окраска зерен в значительной степени зависит от гидроокисных пленок на поверхности. Пироксен в измельченном материале находится в виде тонкопластинчатых, обломочных и частично идиоморфных зерен. Отчетливо видна спайность, которая при дроблении приводит к появлению тонкопластинчатых форм. Включения в пироксене представлены идиоморфными, точечными включениями хромита, а также магнетита. Для ортопироксена отмечается присутствие клинопироксена в качестве продуктов распада твердого раствора, образующего пластинчатые, линзовидные, каплевидные и пятнистые выделения, переслаивающегося с ортопироксеном с показателями преломления $N_g = 1.695$, $N_p = 1.675$. Цвет зерен от зеленого до желтого. Вторичные процессы (серпентинизация) приводит к тому, что происходит залечивание серпентиновым веществом микротрещин. В пироксеновых зернах и по ортопироксену развиваются гомоосевые псевдоморфозы антигорита (бастит).

Хромиты. Состав хромитов ГХГ был изучен микрозондовым и химическим анализами, откуда следует, что хромит в рудах ГХГ заметно изменяется в разрезе по содержанию окиси хрома, закиси и окиси железа. При этом снижение содержания Cr_2O_3 и FeO приурочено к верхней и нижней границе выделяемых богатых руд соответственно $Cr_2O_3 - 44,37\%$ и FeO - 32,39% и $CrO - 49,56\%$ и 29,72%, в центральной части $Cr_2O_3 - 50,52\%$, FeO - 22,44%. Имеет место изменение содержания указанных компонентов и в порообразующих минералах – ромбическом и моноклинном пироксенах, оливине, серпентине. Исследование состава хромитов по генерациям [1, 2, 5] свидетельствует об однородности состава, но вместе с тем количественно различается по содержанию компонентов, размерам, формам, что влияет на поведение хромита в обогащательных операциях.

Испытание по дроблению и измельчению хромитовых руд проводилось по схеме, которая включала дробление руды на щековой дробилке до крупности 5-6 мм.

Ситовой анализ материала после дробления и определение степени раскрытия хромита (табл.1) показывает, что появление свободных зерен хромита (4,5%) находится в классе -2+1 мм, а резкое возрастание свободных зерен хромита начинается в классе менее 0,2 мм и возрастает далее с уменьшением крупности фракции. Изучение размеров вкрапленности хромита и их количественных соотношений в руде (рис. 1) и степень раскрытия при дроблении (табл. 1) предусматривали в первой стадии дробление проб хромитовых руд с применением щековой дробилки ШД 150X80 и валковой 200X125 в замкнутом цикле с грохотом и выделением класса 0,2 мм, являющегося готовым продуктом для обогащения.

Таблица 1. Гранулометрическая характеристика хромитовой руды после дробления

Классы крупности, мм	Выход, %	Суммарный выход по плюсу, %	Содержание свободных зерен хромита, %	Содержание сростков, %	Содерж. свободных породообразующих минералов, %
+ 5	12,31	12,31	-	100	-
- 5 + 2	30,61	42,92	-	100	-
- 2 + 1	15,92	58,84	4,5	70,5	25,5
- 1 + 0,5	7,49	66,33	8,8	66,2	25,0
- 0,5 + 0,2	13,10	79,43	15,3	53,9	30,8
- 0,2 + 0,16	5,36	84,8	39,8	31,2	33,0
- 0,16 + 0,1	4,69	89,49	44,0	22,7	33,3
- 0,1	10,51	100	40,0	2,7	57,3
- 2 + 1	36,2	36,2	2,9	29,73	3,62
- 1 + 0,5	13,3	42,5	1,97	9,61	1,67
- 0,5 + 0,2	22,0	71,5	4,75	13,14	4,14
- 0,2 + 0,16	3,0	74,5	0,79	13,6	0,82
- 0,16 + 0,1	8,4	82,9	3,08	2,35	2,94
- 0,1 + 0,071	7,9	90,8	3,19	0,71	4,07
- 0,071 + 0,05	3,8	94,6	1,65	0,05	2,07
- 0,05 + 0	5,4	100	4,79	0	3,59
Всего			20,12	56,95	22,93

Испытание измельчаемости проб хромитовых руд и раскрытия при этом полезного минерала проводилось в лабораторной шаровой мельнице 40МЛ-А с емкостью 7 литров скоростью вращения барабана 77 об/мин при соотношении Т:Ж:Ш=1:1:6.

Результаты измельчения приведены на графике (рис. 2). Микроскопическое изучение продуктов измельчения по фракциям позволило определить степень раскрытия хромита, долю сростков и количество породообразующих минералов, находящихся в измельченном материале.

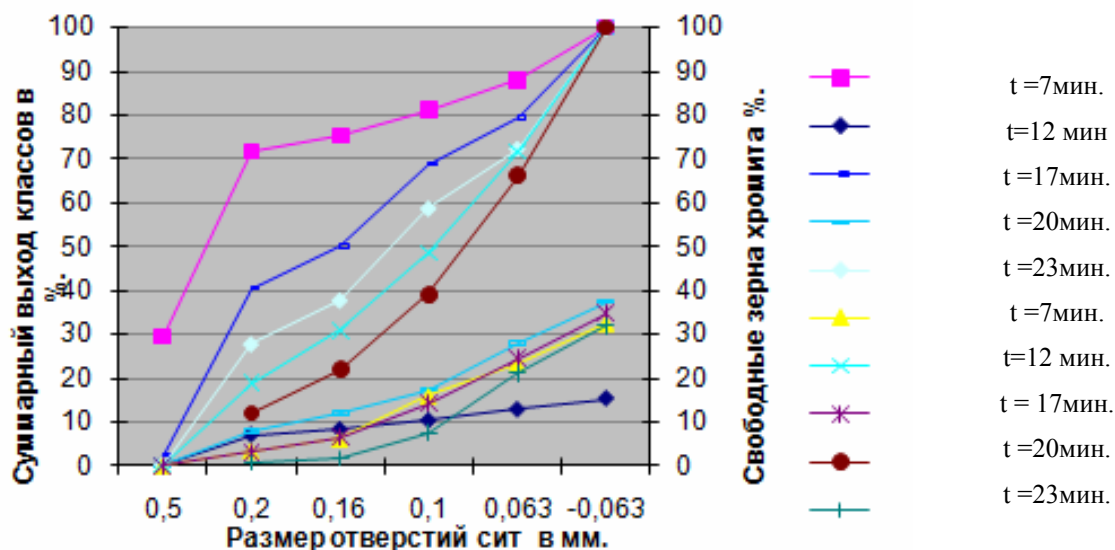


Рис. 2. Характеристика крупности хромитовой руды и раскрытие хромита в зависимости от времени измельчения в шаровой мельнице

Таким образом, морфоструктурные исследования хромитовых руд Карелии с использованием комплекса методов оптических и технологической минералогии позволили установить:

1. Хромитовые руды в пределах ГХГ различны по текстурно-структурным особенностям, составу, характеру сростаний, размерам минеральных выделений и контрастности свойств. 2. В рудах хромит представлен неравномерной вкрапленностью (зерна от ультрамикроскопических до размеров в несколько миллиметров), по морфологии встречаются идиоморфные и ксеноморфные зерна в серпентине, пироксене, оливине. Выделены три генерации хромита и сложные сростания, как с рудными, так и с нерудными минералами, что требует тонкого измельчения (до -0,2 мм) для получения концентратов, отвечающих требованиям промышленности.

3. Присутствие минералов с низкой твердостью (серпентин, ортопироксен) определяет появление шламов породообразующих минералов таких, как тонкие зерна и пластинки ортопироксена и в особенности серпентина, существенно усложняющие процессы обогащения хромитовых руд.

4. В соответствии с размерами (0,03-0,05 мм и менее) первой генерации хромита и её содержанием, теоретически предсказуем не только низкий уровень раскрытия хромита, но и сложность извлечения в процессах обогащения.

5. Технологическое изучение руд позволяет наметить крупность дробления и процессы измельчения, выявить закономерности раскрытия хромита, поведения и прироста полезного минерала от времени измельчения (рис. 1) установить долю ошламования хромита путем сравнения вновь образованного класса -0,05мм и в исходной руде. Полученные данные являются основанием для разработки схемы рудоподготовительных операций хромитовых руд ГХГ Карелии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barsky L.A., Kevlich V.I. Estimating the amenability of Karelia's chromite ores to beneficiation of monomineral fractions // Geological-Technological of ore minerals, samples and deposits. Leningrad, 1990. P. 81-84.

2. Кевлич В.И., Светов С.А., Фофанов А.Д. Типоморфные особенности хромита и влияние их на выбор и условия направленного изменения свойств // Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых (Плаксинские чтения), Материалы международного совещания. М.: Альтекс, 2003. С. 145.

3. Лавров М.М., Кевлич В.И. О происхождении хромитового оруденения Бураковской интрузии. Оперативно информационные материалы. Петрозаводск, 1986. С. 40-43

4. Металлогения Карелии / Отв. Ред. С.И. Рыбаков, А.И. Голубев. Петрозаводск, 1999. С. 223-230.

5. Поиски, разведка и оценка хромитовых месторождений. М.: Недра, 1987. С. 148-157.

6. Трофимов Н.Н., Лавров М.М., Логинов В.Н., Никитин А.Н., Инина И.С. Латеральная и вертикальная изменчивость состава хромшпинелидов Бураковской расслоенной интрузии // Минералогия магматических и метаморфических пород докембрия Карелии. Петрозаводск, 1994. С. 41-52.

7. Щипцов В.В. Технологическая минералогия при оценке промышленных минералов Карелии // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ: сб. статей по матер. I Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 26-33.

8. Чантурия В.А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России // Электронный научно-информационный журнал. Вестник ОГПТГН РАН № 4(6) 98. М., 1998. С. 39-55.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ШЛАКА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА ОАО «ЧЭМК» С УЧЕТОМ ЕГО МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Таранина Т.И.¹, Кабанова Л.Я.¹, Королев А.С.¹, Зырянов Ф.А.¹, Ракитин Д.И.²

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, taranina-ti@mail.ru

² ОАО «Челябинский электро-металлургический комбинат», Челябинск

При производстве низкоуглеродистого феррохрома на ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат» образуется до 120 тыс.т/год шлака. Данный материал представлен в виде тонкодисперсного порошка светло-серого цвета, по минералогическому и химическому составу близок к клинкеру портландцемента, но не обладает вяжущими свойствами. В условиях медленного остывания и кристаллизации расплава формируется двухкальциевый силикат – $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, имеющий три полиморфные модификации. При обычных условиях охлаждения расплава двухкальциевый силикат переходит в γ -форму с увеличением в объеме, что приводит к саморазрушению кристаллической решетки и переходу шлака в пылевидное состояние. Из-за высокой дисперсности, обусловленной полиморфными превращениями, данный шлак получил название «самораспадающийся». Он практически не обладает гидравлической активностью.

Для обеспечения стабилизации структуры двухкальциевого силиката – $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, в частности минерала белита, присутствующего в шлаке, необходимо быстрое охлаждение расплава или введение