

ABSTRACT

Selective collector – polyfunctional (PF) reagent consisting of a mixture of butyl xanthate (BX), N-allyl-o-iso-butyl-thiono-carbamate (TC-1000) and composite aerofloat (CA) taken in a ratio of 1: 1: 2 was selected on the basis of comprehensive research. The colloid-chemical properties: surface tension, adsorption at the water-air line, wetting were studied for basic and polyfunctional reagents. Also the colloid-chemical properties and flotation ability of sulfide mono-minerals: galena, pyrite, sphalerite, and chalcopyrite, with using of basic and multifunctional flotation reagents were evaluated. Furthermore flotation of sulfide polymetallic ore of Tishinsk deposit by using the basic and PF flotation reagents was studied. It is shown that at collective lead-copper flotation by use of the mixture with optimum composition: PF reagent – 15 g/t; foamer T-80 – 10 g/t, was obtained copper-lead collective concentrate with content of a copper of 11.3 % at recovery of 80.4 %, with content of lead of 13.8 % at recovery of 73.0 %, with content of gold 13.3 g/t at recovery 41.4 %, with content of silver 144.8 g/t at recovery 45.78 %. In comparison with basic mode extraction of copper into the shared copper-lead concentrate increases by 4.1% and of lead – by 4.8%, content of Au and Ag increases by 2.9 и 20.4 g/t respectively. In case of zinc flotation with PF reagent concentration 55 g/t and foamer T-80 – 20 g/t zinc concentrate with zinc content of 56.3 % at recovery of 93.6 % was obtained. In comparison with the basic mode of zinc flotation (BX – 65 g/t, T-80 – 20 g/t) at PF reagent use the content of zinc in concentrate increases by 1.7 %; zinc extraction into zinc concentrate increases by 2.5%.

Keywords: multifunctional reagent composition aeroflot, sulphide minerals, adsorption, surface tension, wetting, flotation, Tishinsk deposit ore

Поступила 26.01.2017.

УДК 622.7

Комплексное использование
минерального сырья. № 1. 2017.

И. А. ГРИШИН¹, Ж. А. КНЯЗБАЕВ^{2*}

¹Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова,
Магнитогорск, Россия

²Донской горно-обогатительный комбинат, филиал АО «ТНК «Казхром», Хромтау,
Казахстан, *victory_knyaz@mail.ru

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОБОГАЩЕНИЯ ХРОМОВЫХ РУД. ОБЗОР

Резюме. В статье рассмотрено текущее состояние практики обогащения хромовых руд и отходов их обогащения. Также представлены перспективы развития отрасли с учетом современных тенденций. Целью данного исследования являлся анализ применяемых методов, режимы технологий для обогащения хромовых руд, их недостатки и перспективы развития. Помимо применяемых на практике методов обогащения, приведен анализ исследовательских работ по различным способам обогащения хромитовых руд: с применением гидрометаллургических процессов, по комбинированной схеме с использованием гравитационного метода. В статье приведена характеристика основных типов руд, свойства и требования к получаемым продуктам. Отмечено, что для крупных классов эффективным является гравитационный метод - обогащение в тяжелых средах, для мелких классов - отсадка, винтовая сепарация и обогащение на концентрационных столах. В тоже время, актуальной остается задача по обогащению мелких, тонких и ультратонких классов, где эффективность гравитационных методов невысока, из-за чего происходят основные потери ценного компонента с отходами обогащения. В статье затронуты проблемы технологии обогащения бедных хромовых руд, где перспективным представляется применение сочетания различных методов: гравитационных, флотационных, магнитной сепарации. В большинстве работ в качестве основного метода рассматривают применение гравитационного, а для доводки полученного чернового концентрата – процессы магнитной сепарации или флотации. Проведен обзор основных применяемых технологий для переработки хромовых руд на отечественных (Казахстан, Россия) и зарубежных фабриках (Югославия, Финляндия). В результате обзора сделан вывод о том, что задача переработки тонких классов хромовых руд окончательно не решена, остается актуальной и требует дополнительного изучения.

Ключевые слова: хромшпинелиды, сусpenзионное обогащение, отсадка, классификация

Введение. Главной промышленной ценностью в пригодных к переработке хромовых рудах являются хромшпинелиды [1], из минералов вмещающих пород наиболее часто встречаются серпентин, хлорит, иногда оливин, пи-

роксен, плагиоклаз, уваровит, хромактинолит, тальк, бруцит, карбонаты, сульфиды и др. [2]. По содержанию хромшпинелидов вкрашенные хромовые руды делятся на густовкрашенные, средневкрашенные, редковкрашенные и убо-

гокрапленные. Богатыми считаются руды, в которых содержание Cr_2O_3 более 45 %. По особенностям состава хромовых руд, состоящих из хромшпинелидов, в зависимости от возможности применения в различных отраслях промышленности выделяют металлургические, огнеупорные и химические типы руд. Для получения феррохрома используются богатые хромовые руды и концентраты с содержанием окиси хрома выше 43 % при отношении $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{FeO} > 2,5$, для огнеупоров – с содержанием Cr_2O_3 32 % и более, при содержании SiO_2 до 8,5 % и CaO до 2 %. Для химической промышленности наиболее эффективны руды с высоким содержанием хрома [3].

Хромовые руды со средним содержанием оксида хрома ниже 39 %, как правило, обогащают с применением механических, а иногда и химических методов. Выбор метода обогащения практически полностью зависит от типа вмещающей породы, превалирующей в руде.

Выбор метода обогащения определяется, в первую очередь, типом хромовых руд и размерами вкрапленности хромшпинелидов, типом и размером вкрапленности породообразующих минералов и др. Сплошные руды требуют иногда лишь дробления и сортировки по крупности, простой рудоразборки, для вкрапленных руд применяют собственно обогатительные процессы, причем зачастую не один метод, а их комбинацию. Наиболее легкообогатимы вкрапленные руды, содержащие высокохромистый хромшпинелид, серпентин, хлорит.

Обогащение хромовых руд осуществляется в ЮАР, Казахстане, Финляндии, Югославии, на Мадагаскаре, в Турции, России и других странах.

Мировая практика переработки хромовых руд.

Технология обогащения хромовых руд на обогатительной фабрике Радуша (Югославия). Месторождение хромитовых руд разрабатывается тремя подземными рудниками *Нада*, *Яженцы* и *Орамс*. Обогащение производится на фабрике *Радуша*, расположенной недалеко от г. Скопле. Основным рудным минералом является хромшпинелид, приуроченный к дунитовым породам. Порода представлена серпентином, глинами и бронзитами. В исходной руде содержится 25-35 % Cr_2O_3 . По вещественному составу хромитовые руды близки к рудам кемпирской месторождения (Казахстан), но они более бедные.

Обогатительная фабрика спроектирована и построена американской фирмой «Wemco» в 1969 г., и в 1970 г. достигла проектной мощности

100 тыс. т по сырой руде в год. Фабрика имеет разветвленную схему обогащения, включающую обогащение руды -120 + 6 мм в тяжелых суспензиях, отсадку материала крупностью -6 +0,125 мм и флотацию класса -0,125 +0,05 мм. Несмотря на сложную схему, работа фабрики рентабельна, на момент запуска фабрики себестоимость составляла 3 дол/т концентрата при его отпускной цене 40 дол/т.

Руда с рудника автотранспортом подается в корпус дробления где на первой стадии установлена щековая дробилка. Дробленная руда крупностью -120 мм подвергается предварительному грохочению на самобаланском виброгрохоте, сито которого имеет отверстия 6 мм. Одновременно на этом грохоте отмываются глинистые примеси. Надрешетный продукт -120+6 мм направляется на обогащение в тяжелых суспензиях, которое включает основную операцию разделения в суспензии плотностью 2-2,2 г/см³ с выделением отвальных хвостов и грубого концентрата и перечистку грубого концентрата в суспензии плотностью 3,4-3,6 г/см³ с выделением концентрата и промпродукта. В качестве утяжелителя применяется гранулированный ферросилиций фирмы *Кнапсак* – «мелкий» сорт для основной сепарации и «крупный» – для перечистной. Потери ферросилиция составляют 120-130 г/т обогащаемого материала. Для предотвращения его окисления среда поддерживается щелочной.

Основная и перечистная операции разделения руды крупностью -120 +6 мм осуществляются в одном сдвоенном барабанном сепараторе диаметром 2200 мм и длинной 4000 мм. Барабан делает 6 об/мин. Питание и разгрузка легкой и тяжелой фракций производятся через горловины барабана. Секции барабана разделены высоким кольцевым порогом. В первую секцию разгружается исходная руда и разгружаются отвальные хвосты (легкая фракция) и грубый концентрат (тяжелая фракция); во вторую секцию поступает грубый концентрат и разгружаются конечный концентрат и промпродукт. Тяжелая фракция выгружается перфорированными лифтами, а легкая вместе с суспензией переливается через порог.

Некондиционная суспензия подвергается регенерации на магнитном сепараторе *Велико* диаметром 1200 мм. Магнитный продукт (ферросилиций) поступает на уплотнение в классификатор со спиралью диаметром 350 мм, проходит через размагничивающую катушку и направляется в бак для приготовления суспензии. Концентрат разделяется на грохоте на фракции -120 +30 и

-30 +6 мм, каждая из которых подается на открытые склады. Хвосты содержат, %: 3,8 промпродукта, 15 концентрата, 47,5 оксида хрома.

Промпродукт обогащения в тяжелых суспензиях додрабливается до 6 мм в молотковых дробилках, работающих в замкнутом цикле с вибро-грохотом. Дробленный материал объединяется с подрешетным продуктом -6 +0 мм первичного грохочения, насосом подается на спиральный классификатор диаметром 950 мм, где происходит обесшламливание по зерну 0,125 мм и сгущение материала. Пески классификатора направляются на отсадку, а слив поступает в сгуститель диаметром 4000 мм, а затем в отделение флотации. Отсадка производится на отсадочных машинах с подвижным решетом *Реймер* размером 1500x3000 мм, где выделяют грубые концентрат и хвосты. Хвосты после сгущения поступают на контрольную отсадку, в результате которой получаются отвальные хвосты и грубый концентрат. Грубые концентраты основной и контрольной отсадки, предварительно сгущенные, поступают на перечистку. Концентрат отсадки разделяется на двухдечном грохоте на классы -6 +4 и -4+0,5 мм, которые поступают на склад готовой продукции, а класс -0,5 мм поступает в сгуститель флотационного концентрата. Промпродукт перечистной отсадки после сгущения в гидроциклоне измельчается в стержневой мельнице размером 1700x4000 мм и возвращается в обезвоживающий классификатор основной отсадки. Слив классификатора контрольной отсадки и гидроциклонов используется в качестве оборотной воды.

Флотационная схема на фабрике включает основную операцию в четырех механических флотационных машинах *Wemco* с камерами объемом 1 м³, перечистную флотацию (2 камеры), дополнительную флотацию (2 камеры) камерного продукта перечистных машин, пенный продукт которых подается в основную флотацию. Флотация ведется в нейтральной среде с применением аминоцетата (собиратель) и аэрофrozера 80 (вспениватель) при расходе последнего 60 г/т. Флотационный концентрат поступает на сгущение, затем обезвоживается на дисковом вакуум фильтре и влажным отгружается на склад.

Флотация протекает устойчиво и содержание окиси хрома в концентрате можно легко регулировать от 45 до 55 %. В настоящее время на фабрике товарное извлечение оксида хрома составляет 87-88 %. Технологическое извлечение при наложении производстве и постоянном качестве исходной руды достигает 93 %.

Основные потери хромита на фабрике происходят со сливами гидроциклонов перед флотацией. Шламовые хвосты удаляются в шламохранилище [4].

Обогатительные фабрики Донского горно-обогатительного комбината (Казахстан). Сырьевой базой Донского ГОК является Южно-Кемпирское месторождение хромовых руд, расположенных в городе Хромтау Актюбинской области Казахстана. Месторождение разрабатывается открытым и подземным способами. Богатые хромовые руды с содержанием более 45 % подаются на обогатительные фабрики, где дробятся, и сортируются на требуемые фракции для дальнейшего передела [5]. Бедные хромовые руды перерабатываются на двух обогатительных фабриках – дробильно-обогатительной фабрике № 1 (ДОФ-1) и фабрике обогащения и окомкования руды (ФООР), построенных в 1973 и 1984 гг [6].

Технологическая схема фабрик предусматривает дробление до 160 мм, классификации на классы -160 +10, -10 +3(+2), -3 +0 мм, промывку класса -160 +10 мм на грохоте, обогащение класса -160 +10 мм в тяжелых суспензиях на тяжелосредних колесных сепараторах *Гумбольдт*, *Wedag* и барабанном сепараторе *Wemco*, с получением крупного концентрата и хвостов. Технология обогащения класса менее 10 мм незначительно отличается на двух фабриках.

На ДОФ-1 классы -10 +3 и -3 +0 мм перерабатываются в машинах ОПС и ОПМ с выделением концентрата и промпродукта, поступающих на измельчение для раскрытия сростков с последующим обогащением на винтовых сепараторах и выделением концентрата -0,5 +0 мм. Сгущенные шламы, сливы и другие продукты обогащаются на винтовых сепараторах с получением дополнительного концентрата и промпродукта поступающих на роторный сепаратор с высокointенсивным магнитным полем мокрого обогащения для доизвлечения ценного компонента. Позже было принято решение о дополнительной классификации шламовых хвостов на гидравлическом классификаторе с последующим обогащением камерных продуктов и выделением кондиционного класса по содержанию ценного компонента.

Технологическая схема обогащения класса -10 +0 мм на ФООР включает грохочение по классу -10 +2 мм и -2 +0 мм. Надрешетный продукт грохота направляется на отсадочную машину, где под воздействием пульсирующего потока подрешетной воды в вертикальном направлении выделяются концентрат и отвальные хвосты. Подрешетный

продукт класса -2 +0 мм проходит основную стадию и две перечистные стадии винтовой сепарации. Хвосты винтовой сепарации поступают на две контрольные стадии центробежной сепарации в центробежном концентраторе непрерывного действия, где под действием гравитационного поля (до 200 g) выделяются концентрат и шламовые хвосты. Концентраты винтовой и центробежной сепарации с содержанием оксида хрома 51 %, обезвоживаются на горизонтальном дисковом фильтре и на обезвоживающем грохоте, далее поступают на участок по производству окатышей [7].

Обогатительная фабрика Кеми (Финляндия). Руда добывается открытым способом и подвергается дроблению в щековых и конусных дробилках, а затем измельчению в стержневой и шаровой мельницах, обесшламливанию, сушке и магнитной сепарации на индукционно-роликовых сепараторах. Схема обогащения включает две стадии тяжелосреднего обогащения с выделением кускового концентрата, отвальных хвостов и промпродукта; доизмельченные до -0,5 мм промпродукты и мелкая -6 мм исходная руда после обесшламливания в гидроциклонах обогащаются гравитационным методом на конусах Рейхарта с рядом перечистных и контрольных операций. На последней стадии перечистки выделяют «головку» (наиболее чистый концентрат) и рядовой концентрат, а получаемые промпродукты перечистных операций направляются в головные операции в качестве циркулирующей нагрузки. Все сливы и шламовые продукты поступают на высоконтенсивную магнитную сепарацию, концентрат которой присоединяется к рядовому концентрату.

Обесшламленная рудная пульпа фильтруется и после сушки подается пневмотранспортом на пятистадийную магнитную сепарацию в поле 320 и 1280 кА/м на индукционно-роликовых сепараторах фирмы Зальц-Гиттер. Скорость и напряженность поля дистанционно регулируются с пульта управления. Отвальные хвосты фабрики, отправляемые в хрестохранилище, содержат 16,1 % Cr₂O₃ и 29,5 % SiO₂. Вследствие повышенных потерь руды со сливами гидроциклона производится их перечистка на высокоградиентных сепараторах, что повысило извлечение хрома на 10 %. Общее извлечение Cr₂O₃ в суммарные концентраты составляет около 80 % [8].

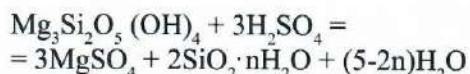
Сарановская обогатительная фабрика (Россия). В Российской Федерации главная сырьевая база хромовых руд сосредоточена в Пермской области – Сарановская месторождение.

Разработку коренных руд ведет шахта Рудная [9]. При проектной годовой мощности переработки 200 тыс. т сырой руды Главного Сарановского месторождения фактическая добыча в 2005 г. составила 120 тыс. т.

Исходная руда подвергается обогащению по простой технологической схеме: дробление, грохочение и обогащение с получением товарной продукции класса крупности -100 +4 мм в тяжелых суспензиях при плотности разделения 3,2-3,3 г/см³, отсадка класса -4 +1 мм и винтовая сепарация мелочи. Извлечение ценного компонента в хромитовые концентраты, содержащие 36,0-37,5 % Cr₂O₃ находится на уровне 93-94 %. Однако эффективно процесс разделения протекает только в тяжелых суспензиях – извлечение Cr₂O₃ от операции более 97 %.

Извлечение при отсадке низкое и составляет менее 65 %, при винтовой сепарации всего 72 %. В двух последних операциях содержание Cr₂O₃ в хвостах операций составляет более 15 % [7].

Исследовательские работы по выщелачиванию хромовых руд. Основные исследовательские работы по выщелачиванию хромовых руд проведены во ВНИИЦВЕТМЕТ. Разработана технология атмосферного и автоклавного выщелачивания хромовых руд и шламов в растворах сернистой кислоты, включающая предварительное растворение, непосредственно перед гравитационным обогащением. Определено, что кеки выщелачивания являются более легкообогатимым сырьем для гравитационного метода нежели исходное сырье, за счет раскрытия сростков, которые разрушаются при выщелачивании с выделением рудных минералов в чистом виде от породы. В результате преобразования основного породного минерала серпентинита уменьшается его удельный вес с 2,6 до 2,0 г/см³ по реакции:



В исходных шламах основным породным минералом является серпентин ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). При выщелачивании большая его часть превращается в $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – минерал типа опала.

Кек выщелачивания подвергался обогащению на гравитационных аппаратах – концентрационных столах, винтовых и центробежных сепараторах, с получением кондиционных концентратов, промпродуктов и хвостов.

Помимо подготовительной функции, выщелачивание позволяет переводить магний в раствор,

а затем из раствора возможно извлекать магний известными гидрометаллургическими способами с получением товарного продукта в виде сульфата магния или жженой и белой магнезии.

Комбинированная технология переработки хромовых руд позволила получить высокий выход товарного хромового концентраты и повысить степень извлечения Cr_2O_3 , а также попутно получить магниевый продукт [10].

Выводы. Хромовые руды, содержащие оливин, который незначительно отличается по плотности от хромитов (соответственно 3,3-4,2 и 4,5-4,8 г/см³), плохо обогащаются гравитационными методами. Если вмещающая порода одновременно представлена серпентином и оливином, то руды лучше обогащаются по комбинированным схемам, включающим гравитационные и флотационные операции.

Базой для комбинированных схем является гравитационное обогащение, которое обеспечивает производство кускового концентраты крупностью более 10 мм, получаемого при разделении в тяжелых суспензиях. Применение тяжелосреднего обогащения весьма эффективно [11], поскольку кусковые концентраты хорошо транспортировать на дальние расстояния, и они образуют минимальное количество пыли при ферросплавном производстве. Благодаря этому обогащение в тяжелых суспензиях получило широкое распространение на большинстве обогатительных фабрик.

Если гравитационные методы весьма перспективны для обогащения крупных классов хромовой руды, то для мелких классов (особенно весьма тонких, менее 0,2-0,1 мм) их эффективность резко падает. Для обогащения мелких и тонких классов крупности используют винтовую сепарацию, высокоградиентную и мгс-сепарацию, выщелачивание с последующим окуневанием полученных концентратов. В последние годы интенсивно осваивается процесс сухой сепарации рентгенорадиометрическим методом [12]. Несмотря на широкий спектр применяемых методов обогащения основные потери Cr_2O_3 связаны с тонкими классами крупности, которые практически на всех фабриках сбрасываются в хвосты. В связи с этим, повышение эффективности обогащения хромитовых руд возможно путем вовлечения в переработку тонких классов, что является весьма актуальным направлением и позволяет расширить минерально-сырьевую базу для производства хрома, а также снизить нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения объемов шламохранилищ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Изотко В.М., Петров С.В., Данилевский В.И., Гребенкина А.С., Орлова А.Н. О комплексном использовании хромитовых руд северо-запада России // Обогащение руд. – 1999. – № 6. – С. 31-35.
 - 2 Обзор рынка хромового сырья в СНГ. – М.: Инфомайн, 2010. – С 10.
 - 3 Гришин И.А., Князбаев Ж.А. Практика обогащения хромовых руд // Актуальные проблемы горного дела. – 2016. – №1. – С. 55-59.
 - 4 Остапенко П.Е., Ревницев В.И., Мясников Н.Ф. Обогащение хромитовых руд в Югославии // Горный журнал. – 1973. – №3. – С. 73-76.
 - 5 Елпашев Г.А., Амиралин К.А. Сыревая база, рациональное использование и охрана природных ресурсов // Горный журнал. – 1978. – № 7/1. – С. 7-9.
 - 6 Кармазин В.И. Обогащение руд черных металлов – М.: Недра, 1982. – С. 171-174.
 - 7 Дементьев И.В., Яковлев В.Л. Горное производство черной металлургии Урала. Уральская горная энциклопедия. – Екатеринбург: УГГА, 2006. – С. 554-567.
 - 8 Иванков С.И., Банников В.Ф., Любимова Е.И. Современные экологически малонапряженные технологии обогащения различных видов бедных хромовых руд // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – 2012 – № 2. – С. 2-14.
 - 9 Анализ и оценка состояния конкурентной среды на рынке хромовой (хромитовой) руды (концентрата) в Российской Федерации и Республике Казахстан. // Федеральная антимонопольная служба, управление контроля промышленности и оборонного комплекса: аналитичес. матер. – Москва, Россия. – 2014. – С. 11.
 - 10 Пат. 23968 РК. Способ обогащения хромитовых руд / Кушакова Л.Б., Резниченко А.В., Сулейманова Г.А., Зинченко А.М., Коспанов М.М., Кучеренко А.Я.; опубл. 16.05.2011, Бюл. № 5.
 - 11 Ракаев А.И., Алексеева С.А., Черноусенко Е.В., Рудаков С.И., Нерадовский Ю.Н. Перспективная технология обогащения бедных хромовых руд Карелии. // Горный журнал. – 2004 – № 1. – С. 64-68.
 - 12 Методические рекомендации по применению классификации запасов к месторождениям хромовых руд. – М.: Министерство природных ресурсов Российской Федерации. – 2007. – С. 7.
- REFERENCES**
- 1 Izoitko V.M., Petrov S.V., Danilevskij V.I., Grebenkina A.S., Orlova A.N. O kompleksnom ispol'zovanii khromitovykh rud severo-zapada Rossii (About the complex use of chromite ores of northwest of Russia). Obogashchenie rud = Beneficiation of ores. 1999. 6, 31-35 (in Russ).
 - 2 Obzor rynka khromovogo syrya v SNG (The review of the market of chrome raw materials in the CIS). Moscow: Infomajn, 2010, 10 (in Russ).
 - 3 Grishin I.A., Knyazbaev Zh.A. Praktika obogashcheniya khromovyh rud (The practice of beneficiation of chrome ore). Aktual'nye problemy gornogo dela = Actual problems of mining. 2016. 1, 55-59 (in Russ).
 - 4 Ostapenko P.E., Revnitshev V.I., Myasnikov N.F. Obogashchenie khromitovyh rud v Jugoslavii (Beneficiation of chromite ore in Yugoslavia). Gorniy zhurnal = Mining journal. 1973. 3, 73-76 (in Russ).
 - 5 Elpashev G.A., Amiralin K.A. Syrevaya baza, racional'noe ispol'zovanie i okhrana prirodykh resursov (Raw materials, rational use and protection of natural resources). Gorniy zhurnal = Mining journal. 1978. 7/1, 7-9 (in Russ).

Обогащение полезных ископаемых

- 6 Karmazin V.I. *Obogashchenie rud chernykh metallov* (Beneficiation of ores of ferrous metals). Moscow: Nedra, 1982. 171-174 (in Russ).
- 7 Dement'ev I.V., Yakovlev V. L. *Gornoe proizvodstvo chernoj metallurgii Urala* (Mining and production of ferrous metallurgy of the Urals). *Ural'skaya gornaya ehntsiklopediya* (The Ural mining encyclopedia). Ekaterinburg: UGGA, 2006. 554-567 (in Russ).
- 8 Ivankov S.I., Bannikov V.F., Lyubimova E.I. *Sovremennye ekologicheski malopryazhennye tekhnologii obogashcheniya razlichnykh vidov bednykh khromovykh rud*. (Modern environmentally less intense enrichment technologies for different types of poor chrome ore). *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchey sredy = Scientific and technical aspects of environmental protection*. 2012. 2, 2-14 (in Russ).
- 9 *Analiz i otsenka sostoyaniya konkurentnoj sredy na rynke khromovoj (khromitovoj) rudy (koncentrata) v Russian Federation i Kazakhstan Republic* (Analysis and assessment of competition environment on the market of chrome (chromite) ore (concentrate) in the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan) // *Federal'naya antimonopol'naya sluzhba upravleniya kontroly*
- 10 Pat. 23968 RK. *Sposob obogashcheniya khromitovykh rud* (Method of chromite ores beneficiation), Kushakova L.B., Reznichenko A.V., Sulejmanova G.A., Zinchenko A.M., Kospanov M.M., Kucherenko A.Ya. Opubl. 16.05.2011, 5 (in Russ).
- 11 Rakaev A.I., Alekseeva S.A., Chernousenko E.V., Rudakov S.I., Neradovskij Yu.N. *Perspektivnaya tekhnologiya obogashcheniya bednykh khromovykh rud Karelii* (A promising technology for the enrichment of poor chrome ores of Karelia). *Gornij zhurnal = Mining journal*. 2004. 1, 64-68 (in Russ).
- 12 *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu klassifikatsii zapasov k mestorozhdeniyam khromovykh rud* (Methodical recommendations on application of Resources Classification to deposits of chrome ores). Moscow: Ministerstvo prirodnnykh resursov RF (Ministry of Nature Resources of Russian Federation). 2007. 7 (in Russ).

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада хром көндерін байыту және олардың қалдықтарын байыту практикасының ағымдағы күй қаралған. Сондай-ақ заманауи үрдістерін ескере отырып, саланы дамыту перспективалары ұсынылған. Осы зерттеудің мақсаты хром көндерін байытуға технологиялар режимдерін қолданылатын әдістерін талдау, олардың кемшіліктері және перспективаларын дамыту болды. Сонымен қатар практикада қолданылатын кен байыту әдістері гравитациялық әдісті қолдана отырып, біркітілген сызба бойынша гидрометаллургиялық процестерді қолдана отырып, хромит көндерін байытудың әртүрлі тәсілдері бойынша зерттеу жұмыстарын талдау келтірілген. Мақалада негізгі көндер түрлерінін сипаттамасы, қасиеттері және алынатын өнімдерге қойылатын талаптары келтірілген. Көндердің ірі кластиары үшін ауыр орталарда байыту - гравитациялық әдіс, шоғырлану үстелдерінде отырызу, бұрандалы айыру байыту - ұсақ кластиар үшін тиімді екені белгіленді. Бірақ гравитациялық әдістердің тиімділігі жоғары еместігінен байыту қалдықтары бар бағалы компоненттің негізгі жоғалымдарының болуына байланысты, ұсақ, майда және ультрамайды кластиарды байыту бойынша мақсаттар өзекті мәселе болып отыр. Мақалада гравитациялық, флотациялық, магниттік айыру әртүрлі әдістерін тіркестестерін қолдану перспективті екені бойынша ұсынылған, кеңеусіз хром көндерін байыту технологиясы проблемалары қозғалған. Негізгі әдіс жұмыстарының кепшілігі гравитациялық әдіс ретінде қолдануды, ал магниттік айыру немесе флотация процестері- алынған қара концентратты жетілдіру үшін қарастырады. Остандық (Қазақстан, Ресей) және шетел фабрикаларында (Югославия, Финляндия) хром көндерін қайта өндеуге қолданылатын негізгі технологияларға шолу жасалды. Шолу нәтижесінде хром көндерінің майда кластиарын қайта өндеу мақсаты түпкілікті шешілмеген, өзекті мәселе болып және қосымша оқып- үйренуді талап етеді деп шешім жасалды.

Түйінді сөздер: хромшпинелидтер, сусpenзиялық байыту, отыргызу, жіктеу, жіктелуі.

ABSTRACT

The article covers the current state of the practice of concentration of chromium ores and their tailings. There are also presented the prospects of the development of the sector with taking into account modern trends. The aim of this study was to analyze the methods, used in the technology, its modes for chrome ores enrichment. It was studied their shortcomings and development prospects. In addition to practically used enrichment methods the research works dealt with the different ways of enrichment of chromite ores such as: hydrometallurgical processes, combined scheme with use of gravitational method were analyzed. The article covers the characteristics of the main types of ores, properties, and main demands to obtained products. It is noted that for large classes the gravity method – the enrichment in heavy liquids is more effective; for small classes - jigging, screw separation and enrichment on concentration tables. At the same time, the actual problem is the enrichment of small, thin and ultrathin classes, where the effectiveness of gravitational methods is low, due to which there are basic losses of valuable components from tailings. In the article the problem of technology for enrichment of poor chrome ore was discussed. The promising technology is application of a combination of different methods: gravity, flotation, magnetic separation. Most of the investigation works take gravity method as basic first step, and magnetic separation or flotation processes as the final step for cleaning crude concentrate. In the review it is shown the main technologies for the processing of chromium ores, which are used both in the native (Kazakhstan, Russia) and foreign factories (Yugoslavia, Finland). The conclusion drawn from the review is that the challenge of processing thin grades of chrome ore is not completely solved. It remains urgent and requires further study.

Keywords: chromium spinel, suspension concentration, jigging, classification, benefication

Поступила 19.10.2016.