

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И СЕРТИФИКАЦИИ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ «ВИМС»



Научный совет по методам
технологических исследований

Методические рекомендации № 101

**ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ РУД ЧЕРНЫХ, ЛЕГИРУЮЩИХ И
РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ПОЛИХРОМНЫМ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ
МЕТОДОМ СЕПАРАЦИИ**

Москва, 2014 г.

РАЗРАБОТАНЫ: Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского» (ФГУП «ВИМС»)

СОСТАВИТЕЛИ: Рябкин В.К., Чепрасов И.В., Тихвинский А.В.

РАССМОТРЕНЫ И ПРЕДСТАВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ: Научным советом по методам технологических исследований (НСОМТИ), протокол №1 от 31 октября 2014 г.

Председатель НСОМТИ



Иванков С.И.

Ученый секретарь НСОМТИ

Соколова В.Н.

УТВЕРЖДЕНЫ:

Федеральным научно-методическим центром лабораторных исследований и сертификации минерального сырья «ВИМС» (ФНМЦ)

Руководитель ФНМЦ «ВИМС»:

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the head of the Federal Scientific Center of Mineral Raw Materials (VIMS).

Рогожин А.А.

Методические рекомендации предназначены для работников геологоразведочных организаций и отраслевых научно-исследовательских институтов, проводящих испытания по изучению обогатимости руд черных, легирующих и редких металлов методом полихромной фотометрической сепарации. Применение настоящих методических рекомендаций обеспечит получение геологоразведочной технологической информации, полнота и качество которой достаточны для принятия решений о проведении дальнейших геологоразведочных работ.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ПОЛИХРОМНОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ (ПФМС)	5
3. АППАРАТУРА ПОЛИХРОМНОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ	8
4. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОБАМ НА СТАДИЯХ ГРР	9
5. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОБОГАТИМОСТИ МЕТОДОМ ПФМС ..	10
5.1. Изучение гранулометрического состава горнорудной массы ..	10
5.2. Изучение технологических свойств руды на выборках кускового материала	12
5.2.1. Формирование выборки	12
5.2.2. Выбор признаков разделения ПФМС	13
5.2.3. Оценка контрастности руды и обогатимости по признаку разделения	14
5.2.4. Факторы, влияющие на эффективность сепарации	16
5.3. Опытная сепарация с оценкой эффективности процесса ПФМС	16
5.3.1. Фракционная разгонка опережающих проб	16
5.3.2. Опытная сепарация по классам крупности с оценкой эффективности ПФМС	18
6. ТИПОВЫЕ КРИТЕРИИ И КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ПРИМЕНЕНИЯ ПФМС ДЛЯ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ..	18
6.1. Руды черных металлов	21
6.2. Руды легирующих металлов	23
6.3. Руды редких металлов	26
6.4. Обобщенные критерии и их предварительная оценка	28
ЛИТЕРАТУРА	29

Принятые сокращения и обозначения:

ГРР – геологоразведочные работы

ПФМС – полихромная фотометрическая сепарация

РРС – рентгенорадиометрическая сепарация

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Полихромный фотометрический метод сепарации является современной модификацией фотометрического метода, использующей регистрацию оптических характеристик (цвет, прозрачность, отражательная способность) минералов. С применением различных источников освещения и возбуждения, гибкого управления алгоритмами методов обработки получаемых изображений метод выходит далеко за пределы возможностей фотометрической аппаратуры предыдущих поколений. При этом основным достоинством сепараторов, использующих данный метод, является их высокая производительность за счет сепарации руды в монослое. За рубежом метод получил широкое распространение и с успехом применяется в различных областях для сортировки материалов, используемых в строительной отрасли, при переработке отходов металлургического передела, промышленных и бытовых отходов, для сортировки сельскохозяйственных продуктов и только в единичных случаях для сепарации руд цветных и благородных металлов. Последнее объясняется с одной стороны ограниченным количеством сырьевых объектов в Европе, а с другой – высокой сложностью решения задач при сепарации руд.

Наряду с другими радиометрическими методами обогащения минерального сырья ПФМС призван решать следующий круг технологических задач:

- обогащение руд с получением товарных крупнокусковых концентратов, а также промежуточных продуктов для последующей переработки и отвальных хвостов;
- предварительное обогащение руд с выделением крупнокусковых хвостов для сокращения объема материала, поступающего на последующие переделы и в хвостохранилища;
- разделение горнорудной массы или нерудных полезных ископаемых на технологические типы (сорта), переработка которых проводится по различным технологическим схемам;
- кондиционирование руд и концентратов по содержанию вредных примесей.

Применение обогащения методом ПФМС может обеспечить:

- вовлечение в эксплуатацию руд, переработка которых ранее считалась нерентабельной;
- снижение себестоимости получения конечной продукции за счет использования низкзатратной технологии предварительного обогащения;
- получение на начальной стадии переработки кусковых металлургических концентратов;
- снижение негативного влияния обогатительных предприятий на окружающую среду.

В процессе геологоразведочных работ оцениваются возможности использования метода при переработке руд, технологические показатели, экономическая эффективность применения. В отличие от других

радиометрических методов из-за высокой изменчивости цветовых характеристик оруденения изучение обогатимости руд может производиться только на представительных пробах выделенных природных типов руд, начиная с оценочной стадии ГРР.

Методические рекомендации предназначаются в первую очередь для технологов, исследующих обогатимость руд радиометрическими методами, а также работников геологических организаций, выполняющих геотехнологическое картирование с выделением технологических типов руд.

2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ПОЛИХРОМНОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ

Процесс покусковой сортировки руды с использованием современных фотометрических сепараторов показан на рис. 1. Сепарируемый материал подается вибропитателем или лентой конвейера в зону измерения, где освещается лампами. Цифровая видеокамера фиксирует изображение каждого куска и передает его на высокоскоростной компьютер. Специальная программа распознает цветовые характеристики объектов, классифицирует их в соответствии с заданным признаком разделения и выдает команды на разделение. Система пневмоклапанов импульсом воздушных струй отклоняет куски от траектории общего потока, сформированного в виде монослоя шириной от 300 до 1800 мм в зависимости от модификации сепаратора.

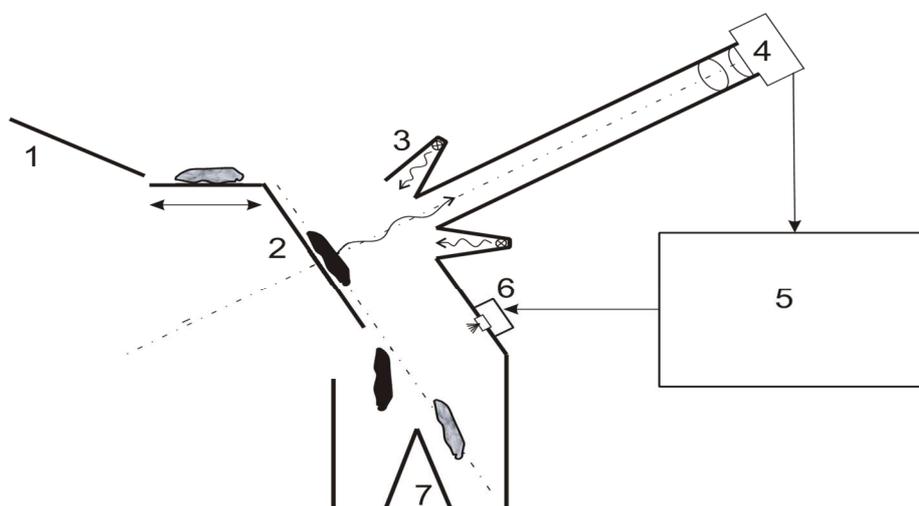


Рис. 1. Принципиальная схема фотометрического сепаратора:
1 – вибропитатель; 2 – раскладчик; 3 – источники света; 4 – фотокамера;
5 – блок обработки информации; 6 – пневмоклапаны; 7 – приемные бункеры

Применяемая в телевизионной и цифровой оптической аппаратуре, в том числе в полихромных фотометрических сепараторах, цветовая система RGB (рис. 2) выражает цветовые характеристики светового потока с помощью трех длин волн: красной (R), зеленой (G) и синей (B). Цветовые характеристики каждой точки в данной системе определяются координатами по трем осям R, G и B. Значения по каждой из осей находятся в пределах от 0 до 256 значений градаций цвета. Начало координат отвечает черному цвету, противоположная точка диагонали куба – белому, а промежуточные точки с равными значениями R, G, B – градациям серого.

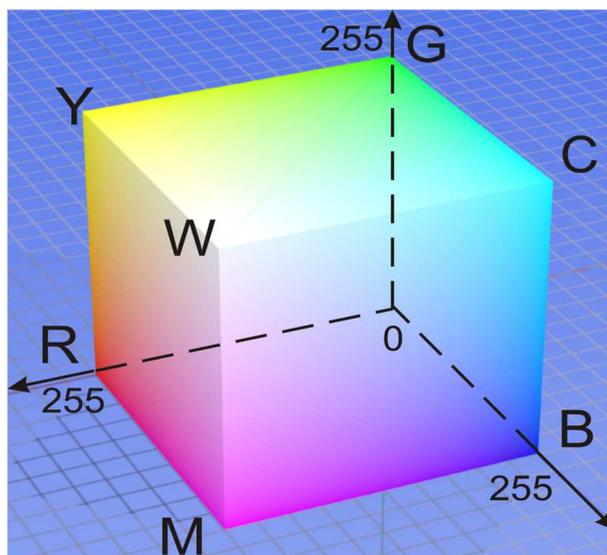


Рис. 2. Цветовой график трехкоординатного цветового пространства RGB

В сепараторах компании Aliud GmbH применяется цветовая система RGB со следующим принципом получения и анализа изображения. Отраженный от кусков световой поток через оптическую систему цифровой видеокамеры проецируется на так называемую ПЗС-матрицу, которая является аналоговой интегральной микросхемой, состоящей из светочувствительных фотодиодов (пикселей). В данных устройствах ПЗС-матрицы состоят из субпикселей с красным, зеленым и синим светофильтрами, в результате чего каждый из них фиксирует лишь излучение определенной длины волны. Количество светочувствительных площадок составляет несколько миллионов (мегапиксельные камеры), что и определяет разрешающую способность камеры. В течение временного интервала сканирования каждый субпиксель заполняется электронами пропорционально количеству попавшего в него света. По окончании времени экспозиции электрические заряды, накопленные каждым пикселем, поочередно считываются и преобразуются в цифровой код.

Другой цветовой моделью, применяемой в полихромных фотометрических сепараторах, является цветовая модель YUV (рис. 3), которая описывает качество светового потока тремя компонентами: яркостью Y и координатами по двум цветоразностным осям U и V. Значения

канала яркости Y могут составлять от 0 до 255 (по целым числам). Цветоразностная ось U может принимать значения от 0 до 1023, а ось V – от 0 до 511.

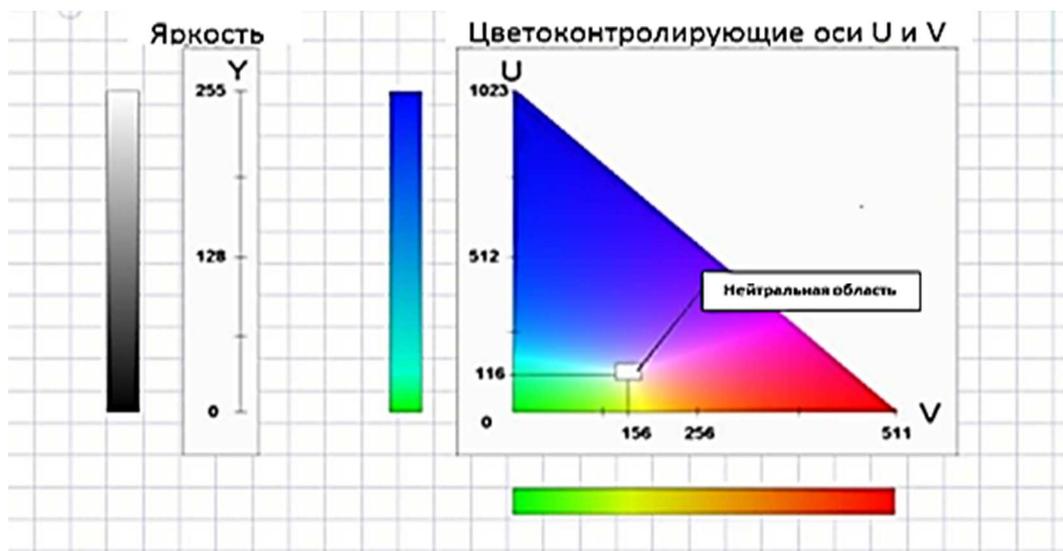


Рис. 3. Цветовая модель YUV

Метод полихромной фотометрической сепарации основан на разделении кускового материала по его цветовым характеристикам. На цветовые характеристики минерала или горной породы влияет множество факторов. С одной стороны – это окраска минерала и его отражательная способность, с другой – яркость, углы падения и спектральный состав облучающего светового потока.

Окраска минералов представляет собой суперпозицию световых волн, которые отражаются от поверхности кристаллов или высвечиваются в результате снятия возбужденного состояния при поглощении света оптически активными центрами в минерале. До настоящего времени используется предложенная А.Е. Ферсманом общая классификация окрасок минералов:

- идиохроматические (собственные, а также вызванные примесями посторонних ионов и атомов), безусловно доминирующие в минеральном мире;
- аллохроматические (вызванные механическими примесями), являющиеся суперпозицией идиохроматических окрасок минералов-включений;
- псевдохроматические (связанные с интерференционными явлениями) окраски, такие как иризация, опалесценция, различного рода побежалости.

Разделение твердых тел по типам химической связи (металлической, ковалентно-металлической, ковалентной, ионно-ковалентной и ионной) в общем случае соответствует минеральным видам, что позволяет рассматривать окраску по типам оптических поглощений, преобладающих в

данных классах минералов. По такому принципу в [1] предложена классификация окрасок минералов идиохроматической группы, объясняющая их природу:

– окраска металлических и ковалентных соединений, связанная с межзонными оптическими переходами, обуславливающая положение фундаментальной (собственной) полосы поглощения или максимумов отражения в видимой области спектра. К этому типу относятся минералы с высокой отражающей способностью: самородные металлы, арсениды, антимониды, висмутиды, некоторые халькогениды тяжелых металлов;

– окраска ковалентных соединений (примесных полупроводников), обусловленная оптическими переходами с участием локальных донорных и акцепторных энергетических уровней. К этому типу относятся сульфиды;

– окраска, обусловленная процессами переноса заряда электронными переходами между различными ионами, в том числе между металлами и лигандами (периферийные атомы, рассматриваемые как точечные заряды в теории кристаллического поля) и между разноразрядными ионами металлов, так называемые спектры переноса зарядов. По этому механизму преимущественно формируется окраска силикатов, ванадатов, хроматов и молибдатов;

– окраска, связанная с хромоформными свойствами ионов переходных металлов, лантаноидов и актиноидов и обусловленная электронными переходами между расщепленными кристаллическим полем d- и f-уровнями ионов металла (спектры кристаллического поля). К этому типу относятся хром-, марганец-, никель-, железо-, медьсодержащие минералы;

– радиационная окраска, связанная с образованием под действием ионизирующей радиации электронно-дырочных центров в реальных кристаллах с различными структурными и примесными дефектами. Сюда относятся флюорит, апатит, галоиды, кварц, карбонаты, сульфаты.

Отражательная способность минерала, характеризующаяся преобладающим значением какой-либо длины волны по сравнению с другими волнами, обуславливает его цвет в отраженном свете.

В естественных условиях преобладает комбинированная природа окраски минералов, на фоне которой доминирует тот или иной механизм и присущая ему окраска. Для использования цветовых характеристик при обогащении методом ПФМС важно выделять типичную, связанную с орудением цветовую характеристику.

3. АППАРАТУРА ПОЛИХРОМНОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ

В настоящее время в мировой практике обогащения руд находят достаточно широкое применение сепараторы разработки немецких компаний, эксплуатационные характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Типы сепараторов компании Aliud GmbH и Tomra Systems GmbH и их эксплуатационные характеристики

Компания – производитель	Модель сепаратора	Способ подачи и измерения	Ширина полосы подачи материала, мм	Крупность материала, мм	Производительность, т/ч
Aliud GmbH	GemStar	Вибропитатель с измерением в свободном падении	300	-1+0,5	0,4
				-3+1	0,8
				-6+3	2,5
				-12+6	5
		Конвейер с измерением на близгоризонтальной траектории	600	-3+1	1,5
				-6+3	5
				-12+6	10
				-30+12	17
	Belt Compact	Конвейер с измерением на близгоризонтальной траектории	1200	-6+3	12
				-12+6	23
				-30+12	56
			1800	-60+30	110
				-12+6	35
				-30+12	88
	Gravity	Вибропитатель с измерением в свободном падении	1200	-60+30	35
				-150+60	65
-350+150				200	
1800			-60+30	50	
			-150+60	120	
			-350+150	280	
Tomra Systems GmbH	Pro Secondary Color	Вибропитатель с измерением в свободном падении	1128	-20+10	15
				-40+20	40
				-80+40	80
	Pro Primary Color	Вибропитатель с измерением в свободном падении	1128	-150+80	140
				-250+150	200

4. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОБАМ НА СТАДИЯХ ГРР

Представительность технологических проб выделенному промышленному (технологическому) типу обеспечивается выполнением требований к отбору технологических проб и методических рекомендаций по отбору проб при геологоразведочных работах на рудные полезные ископаемые [2]. Специфической особенностью метода является сильная зависимость от изменчивости цветовых характеристик рудного материала, которая определяется геологическими процессами рудообразования, наложением пострудных процессов метасоматоза и гипергенных процессов. В соответствии с этим изучение технологических свойств руды, определяющих возможность обогащения методом ПФМС, следует начинать на заключительном этапе оценочной стадии, когда произведено оконтуривание рудных тел и выполнено геолого-технологическое

картирование с выделением природных типов. По выделенным типам руд могут быть отобраны лабораторные технологические пробы массой от 250 кг до нескольких тонн для оценки технологической эффективности применения ПФМС.

Укрупненные лабораторные пробы (массой 5 т и более) отбираются на стадии разведки месторождений с целью получения исходных данных для проектирования перерабатывающих предприятий.

5. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОБОГАТИМОСТИ РУД МЕТОДОМ ПФМС

Изучение свойств руд, влияющих на их обогатимость радиометрическими методами, включает следующие этапы:

- изучение гранулометрического состава горнорудной массы;
- изучение контрастности и обогатимости по признакам разделения;
- выбор оптимального признака разделения и определение границы разделения;
- опытная сепарация по классам крупности с оценкой эффективности процесса.

5.1. Изучение гранулометрического состава горнорудной массы

Гранулометрический состав горнорудной массы (ГРМ) влияет на эффективность сепарации, определяет технологическую и экономическую целесообразность ее применения. С уменьшением крупности перерабатываемого материала производительность сепараторов резко снижается, что ведет к увеличению капитальных затрат на оборудование и себестоимости процесса.

Параметры гранулометрического состава должны использоваться при разработке технологических схем и при выборе оборудования по данным укрупненных технологических испытаний. Определение гранулометрического состава добытой горнорудной массы является сложным и трудоемким процессом. На распределение руды по крупности влияют физико-механические свойства руды, способы отбойки и транспортировки горнорудной массы. По этой причине представительная и достоверная оценка гранулометрического состава может быть получена только в результате специальных работ непосредственно на месторождении путем грохочения отбитой ГРМ с использованием рекомендуемого паспорта буровзрывных работ горнорудной массы или после крупного дробления.

Пробы, которые отбираются при геологоразведочных работах из горных выработок задирковым или бороздовым способом, далеко не в полной мере отвечают по своему гранулометрическому составу добываемой ГРМ. Из-за ограниченности объема лабораторной технологической пробы масса крупного класса, как правило, оказывается непредставительной для установленной неравномерности оруденения. Такая проба должна путем додробливания ограничиваться по верхнему пределу крупного класса (d , мм),

чтобы обеспечивались требования надежности по массе (Р, кг) класса при заданном коэффициенте неравномерности оруденения (k) в формуле Чечотта:

$$P = k d^2$$

Масса керновых проб с крупностью 0,5-1,5 диаметра зерна рассчитывается по той же формуле. Фактический гранулометрический состав лабораторной пробы (табл. 2) используется только при расчете технологических показателей опытной сепарации, в то время как требования корректности оценки обогатимости вынуждают использовать прогнозный гранулометрический состав, взятый по месторождениям-аналогам или из таблиц усредненного гранулометрического состава (табл. 3 и 4) [3].

Таблица 2

Гранулометрический состав лабораторной пробы руды после додрабливания кусков крупных классов до -100 мм

Классы крупности, мм	Фактическая масса, кг	Выход, %		Среднее содержание**, %		Извлечение, (прогноз), %		Коэффициент обогащения	
		Фактический	Прогнозируемый*	C ₁	C ₂	ε ₁	ε ₂	K ₁	K ₂
-100 + 75									
-75 + 50									
-50 + 25									
-25 + 10									
-10 + 5									
-5 (отсев)									
Исходная проба в т.ч. сеп.классы		100,0	100,0			100,00	100,00	1,00	1,00

* – данные усредненного гранулометрического состава из табл. 3 и 4

** – содержания компонентов определяются по результатам анализов продуктов сепарации

Таблица 3

Усредненные характеристики крупности взорванной горнорудной массы

Крупность классов, мм	Суммарный выход классов по минусу, %, при крупности продукта, мм						
	-1000	-800	-600	-500	-400	-300	-150
-1000	95	-	-	-	-	-	-
-800	88	95	-	-	-	-	-
-600	80	87	95	-	-	-	-
-500	73	81	90	95	-	-	-
-400	66	73	83	89	95	-	-
-300	57	64	73	80	87	95	-
-200	44	50	60	66	73	83	98
-100	26	31	37	44	50	60	78
-50	15	18	22	26	31	37	50
-25	8	-	-	-	-	14	29

Таблица 4

Усредненные характеристики крупности разгрузки дробилок крупного дробления

Крупность классов, мм	Суммарный выход классов по минусу, %, при крупности продукта, мм					
	-350	-300	-250	-200	-150	-100
-350	95	-	-	-	-	-
-300	88	95	-	-	-	-
-250	81	87	95	-	-	-
-200	74	79	86	95	-	-
-150	62	68	75	84	95	-
-100	47	51	58	68	79	95
-75	37	41	47	56	68	84
-50	27	31	35	41	51	68
-25	14	17	20	24	30	41
-15	7	10	12	15	20	27

Для ориентировочной оценки качества руды в начале работ выполняется анализ материала несепарируемого класса – отсева.

Куски обязательно подвергаются промывке. При наличии глинистых корок используются замачивание и промывка или обдирка в скруббер-бутах в качестве дополнительных операций рудоподготовки.

При больших объемах машинных классов для исследований допускается отквартовка представительных порций с соблюдением требований представительности и надежности по массе в соответствии с формулой Чечотта.

Технологические этапы и параметры рудоподготовки оформляются в виде схемы рудоподготовки, которая должна быть помещена в отчете.

5.2. Изучение технологических свойств руды на выборках кускового материала

Предварительное изучение свойств руды, влияющих на ее обогатимость методом ПФМС, проводится на представительной выборке по одному из классов крупности кускового материала.

5.2.1. Формирование выборки

При изучении радиометрической обогатимости руд для определения контрастности, выбора признаков разделения и оценки обогатимости по признаку разделения производятся исследования на представительной выборке чаще всего кусков среднего класса крупности -50+25 мм с массой 70-120 г. Для низкоконтрастных и контрастных руд достаточна выборка из 50-100 кусков, для особоконтрастных – до 200 кусков.

Представительность выборки обеспечивается соблюдением принципа случайного отбора N кусков путем извлечения в выборку каждого n/N-го куска из n кусков в классе по счету. При этом не рекомендуется брать куски с маленькой массой или удлиненной лещадной формы. Куски маркируются, затем определяется их масса, а также плотность путем гидростатического взвешивания на воздухе и в воде.

5.2.2. Выбор признаков разделения ПФМС

Разделение кускового материала при полихромной фотометрической сепарации производится по природному свойству – цвету минералов, напрямую или косвенно связанному с содержанием основного (попутного) полезного компонента, а также минералов вмещающих пород, не содержащих оруденения. С этой целью при выполнении геологической документации кускового материала вместе с описанием минерального состава и текстурно-структурных особенностей руды фиксируются цветовые характеристики. На основании документации выявляются цветовые отличия минеральных комплексов, по которым возможно проведение разделения.

Для руд с массивными и пятнистыми текстурами достаточно от представительной выборки отобрать несколько (количество определяется задачами сепарации) дополнительных выборок по 5-10 кусков. Каждая из таких выборок должна характеризовать определенную цветовую разность, поэтому куски выборок должны обладать типичными цветовыми характеристиками. Предварительно требуется определить влияние промывки и влажности на различие цветовых характеристик. После выбора времени экспозиции и режима освещения производится фотографирование выборок оптической системой сепаратора в динамическом режиме, т.е. на траектории в камере сепаратора. Количество фотографий обычно составляет от 3-х до 5-ти. По лучшим из них программой обработки определяются цветовые гистограммы для концентрата, хвостов и 5-ти специальных продуктов. Для контрастных по цвету минеральных образований существует возможность задания искусственных гистограмм, используя анализ цветовых распределений по фотографиям объектов. Границы разделения для каждого выделяемого продукта устанавливаются в числовом выражении R, G, B.

Для руд с прожилковыми и вкрапленными текстурами, а также при наличии пленок и корок после подбора оптимальных режимов требуется получить фотографии кусков представительной выборки (100-200 штук). Для них по анализу цветовых распределений задаются искусственные гистограммы путем установки границ для каждой из представленных в материале цветовых разностей по осям R, G, B. Площадь минералов с цветовой характеристикой, соответствующей заданной гистограмме, является параметром признака разделения λ . Площадь может задаваться как в относительных (соотношение площади поверхности, занимаемой минералами с цветовой характеристикой, соответствующей заданной гистограмме, к общей площади поверхности куска), так и в абсолютных единицах. С использованием результатов фракционирования кусков по λ и данных анализа полезного компонента в кусках (см. раздел 5.2.3.) рассчитывают таблицы и кривые обогатимости, вычисляют эффективность признака разделения ПФМС. Предварительно определяется граничная величина параметра λ_r , отвечающая заданным показателям разделения при ПФМС.

Формирование программы отбора кусков для режима сепарации производится путем задания гистограмм признаков разделения по

концентрату, хвостам с присоединением 5-ти специальных продуктов, используя логические связи "и", "или" и "не". Программой выдается отображение результатов отбора на фотографиях кусков для заданного значения площади λ от 1 до 100% распространения гистограммы, соответствующей признаку разделения. Выбранный параметр λ_r является границей разделения по признаку ПФМС и задается специально для каждого продукта.

5.2.3. Оценка контрастности руды и обогатимости по признаку разделения

Оценка технологических свойств руды включает определение контрастности и обогатимости по выбранному признаку разделения. С этой целью вся сотня кусков выборки фотографируется оптической системой сепаратора. Затем каждый из кусков измельчается до крупности -0,074 мм. Выполняется анализ навески с определением содержаний основных, попутных и мешающих компонентов.

По результатам анализа проводится обработка данных путем фракционирования по содержанию основного компонента с вычислением предельных показателей разделения (табл. 5) и показателя неравномерности («контрастности») M , характеризующего степень различия содержания основного компонента в кусках:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |(y_i - \alpha)q_i|}{a}$$

где: n – число кусков выборки;

α – среднее содержание ценного компонента в выборке, %;

y_i – содержание ценного компонента в отдельных кусках пробы, %;

q_i – доля массы i -го куска в общей массе выборки, отн. ед.

Величина показателя M может изменяться в пределах от 0 до 2. Руды классифицируются по «контрастности» в соответствии с табл. 6.

Таблица 5

Фракционный состав выборки 100 кусков класса крупности -50+25 мм по содержанию основного компонента и предельные показатели интегрального распределения

Фракционный состав по содержанию основного компонента					Предельные технологические показатели					
№фр.	Верхний предел, %	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %	Хвосты			Концентрат		
					Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %
					100,0			100,0		

Классификация руд по показателю «контрастности»

Характеристика руд по контрастности	М
Неконтрастные	<0,5
Низкоконтрастные	0,5-0,7
Контрастные	0,7-1,1
Высококонтрастные	1,1-1,5
Особоконтрастные	≥1,5

Для оценки обогатимости по признаку разделения куски фракционируются по параметру λ , и результаты представляются в виде таблицы обогатимости (табл. 7) с расчетом показателя признака разделения Π . Показатель определяется как максимум относительного средневзвешенного отклонения содержаний полезного компонента от среднего содержания в руде для фракций, которые получаются путем последовательной группировки (от 1 до λ) кусков, расположенных в порядке возрастания признака разделения:

$$\Pi = 2 \max \sum_{i=1}^n \frac{(C_i - \alpha) \gamma_i}{\alpha},$$

где: n – номер граничного куска фракции по возрастанию величины признака разделения;

γ_i – выход фракции, отн. ед.;

C_i – содержание во фракции, %;

α – среднее содержание ценного компонента в выборке, %.

Значение показателя признака разделения также изменяется в пределах от 0 до 2. Следует отметить, что показатель признака разделения по цветовой характеристике в случае полихромной фотометрической сепарации приобретает физический смысл показателя цветовой контрастности.

Таблица 7

Фракционный состав выборки 100 кусков класса крупности –50 + 25 мм по признаку разделения α и технологические показатели разделения

Фракционный состав по λ					Технологические показатели					
№фр.	Верхн. предел, λ_r	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %	Хвосты			Концентрат		
					Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %
					100,0			100,0		

Эффективность признака разделения рассчитывается для среднего содержания по выборке в виде отношения $\mathcal{E}_\Pi = \Pi/M$. Приемлемыми считаются значения \mathcal{E}_Π от 0,8 до 1,0.

5.2.4. Факторы, влияющие на эффективность сепарации

Влияние влажности на эффективность сепарации

Для очистки поверхности кусков применяется предварительная отмывка кусков перед сепарацией. Влажная поверхность куска за счет заполнения водой микродефектов и пор приобретает насыщенный цвет естественной окраски. Различия в смачиваемости и пористости вмещающих пород и руд способствуют повышению цветовой контрастности. Соответственно увлажнение кускового материала приводит к усилению цветовых различий и способствует более эффективному разделению при ПФМС. С другой стороны, пленка воды на плоскостях спайности и поверхностях оптически прозрачных кристаллов вследствие эффектов дифракции и интерференции способствует появлению цветных световых рефлексов, которые могут стать серьезной помехой при выделении цветовых характеристик отдельных минералов. В таких случаях сепарации подвергается сухая руда.

Влияние вторичных минеральных образований

Вторичные минеральные образования в зоне гипергенеза характерны для железных и марганцевых руд, а также сульфидных руд. В результате процесса переноса марганцевых оксидных минералов по трещинам кливажа образуются корки, пленки, примазки на плоскостях отдельностей. Образование кусков в процессе отбойки руды происходит преимущественно по зонам растрескивания массива. Это приводит к тому, что в концентрат ПФМС попадают закамуфлированные под руду куски пустой породы. Для устранения засорения породой следует дроблить куски до раскрытия рудной минерализации с применением двустороннего осмотра кусков при сепарации.

В массивах ультраосновных пород вторичные минеральные образования по зонам растрескивания хромовых руд (хризотил, хризотил-асбест, амфиболы, хлорит, тальк и др.), представлены прожилками и пленкам зеркал скольжения плоскостей отдельностей, причем они обладают меньшей крепостью. Они образуют «чужеродные» поверхности кусков отбитой хромовой руды, камуфлирующие ее под вмещающую породу, что приводит к потерям при ПФМС. С целью устранения такого рода потерь также следует воспользоваться дроблением для раскрытия руды с применением двустороннего осмотра кусков при сепарации.

5.3. Опытная сепарация с оценкой эффективности процесса ПФМС

5.3.1. Фракционная разгонка опережающих проб

С целью уточнения границ разделения при сепарации выполняются предварительные эксперименты на пробах руды двух классов крупности: -50+25 мм с массой порции порядка 100 кг и -12+5 мм массой около 50 кг. Сепарация производится методом так называемой «фракционной разгонки» с выделением: заведомо кондиционного концентрата, трех промпродуктов с последовательным понижением содержания полезного компонента за счет изменения λ и отвальных по качеству хвостов, согласно схеме (рис. 4).

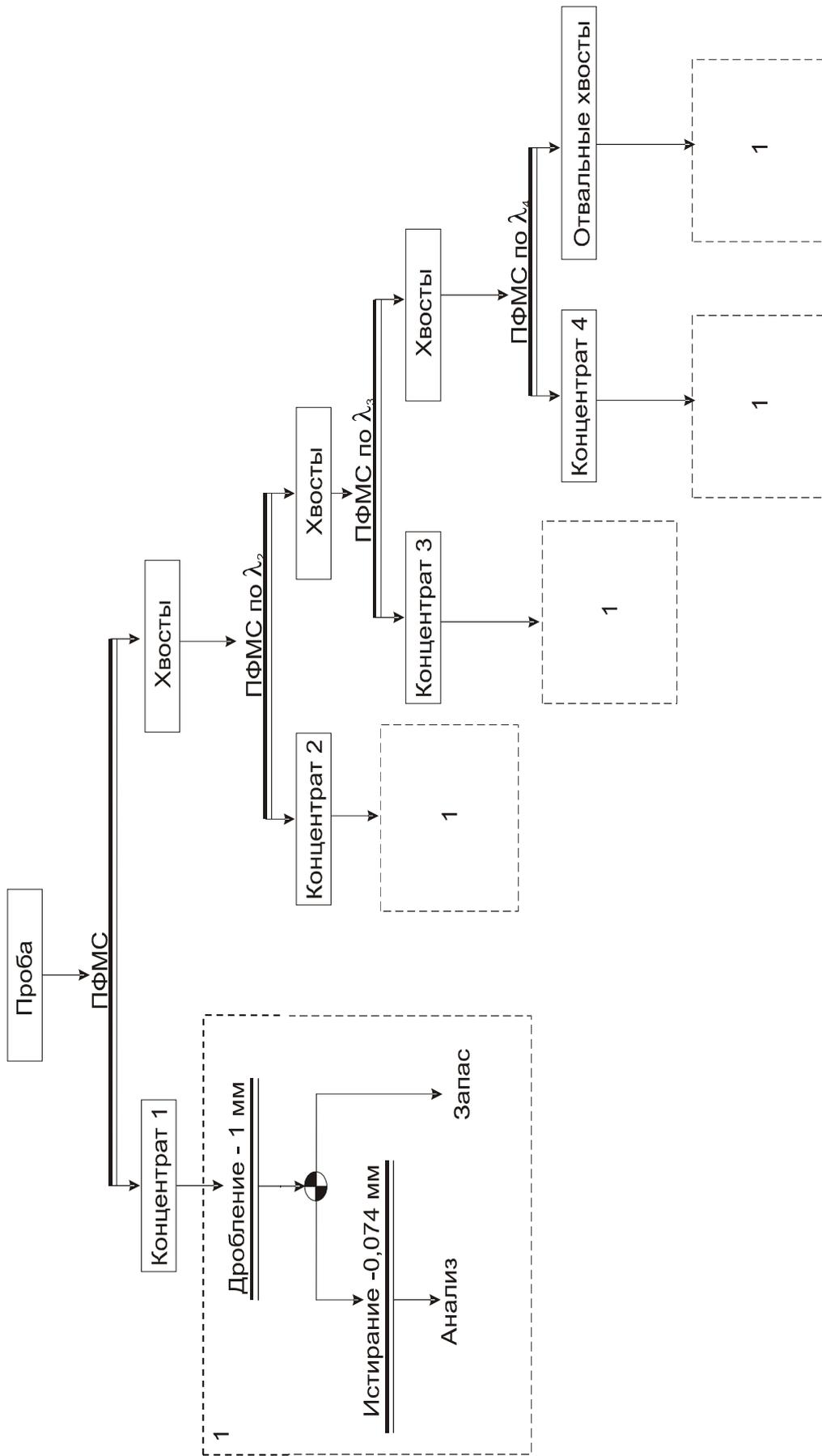


Рис. 4. Фракционная разгонка опережающей пробы при разных значениях λ -границы ПФМС, где по схеме № 1 производится опробование продуктов

При сепарации гетерогенных руд на сепараторе с односторонним осмотром кусков эффект двустороннего осмотра достигается путем выделения хвостов при использовании трех дополнительных контрольных операций на хвостовых продуктах.

По результатам анализа продуктов рассчитывается уточненная данными опытной сепарации таблица обогатимости (аналогичная табл. 7) для каждого из классов крупности и производится объединение концентратных продуктов. Принимаются оптимальные значения границ сепарации λ . Для промежуточных классов крупности они определяются методом интерполяции.

5.3.2. Опытная сепарация по классам крупности с оценкой эффективности процесса

Проведение опытной сепарации позволяет экспериментально получить технологические показатели ПФМС классов крупности горнорудной массы и оценить эффективность работы сепаратора, сопоставив с предельными технологическими показателями, полученными при оценке контрастности и обогатимости.

Разделительное устройство сепаратора при паспортной производительности и нагрузке на отсечку менее 40% кусков работает с эффективностью $>0,9$. Для выполнения этого условия отсечки предусмотрена возможность отсекал либо концентрат, либо хвосты.

Технологическая схема опытной сепарации приведена на рис. 5. Она включает как основные, так и контрольные операции, определяющие качество хвостов и потери с ними.

Все продукты подвергаются опробованию. При удовлетворительном качестве хвостов или концентратов оценивается эффективность ПФМС по хвостам или по концентрату.

Результаты ПФМС пробы по классам крупности представлены формой табл. 8.

6. ТИПОВЫЕ КРИТЕРИИ ПРИМЕНИМОСТИ И КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ПФМС ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Критерии применимости ПФМС являются типовыми, поскольку, используя косвенные признаки разделения, они должны быть связаны с природными, минеральными типами руд. Типичные и специфические условия формирования месторождений оставляют определенный отпечаток в цветовых тонах руд или вмещающих пород. Связь используемых в ПФМС цветовых характеристик с рудными образованиями или вмещающей породой за исключением простых по составу руд черных металлов не всегда имеет непосредственный характер. Цветовые признаки, которые могут быть использованы для разделения руд и пород, должны быть связаны с содержаниями полезных компонентов корреляционными зависимостями.

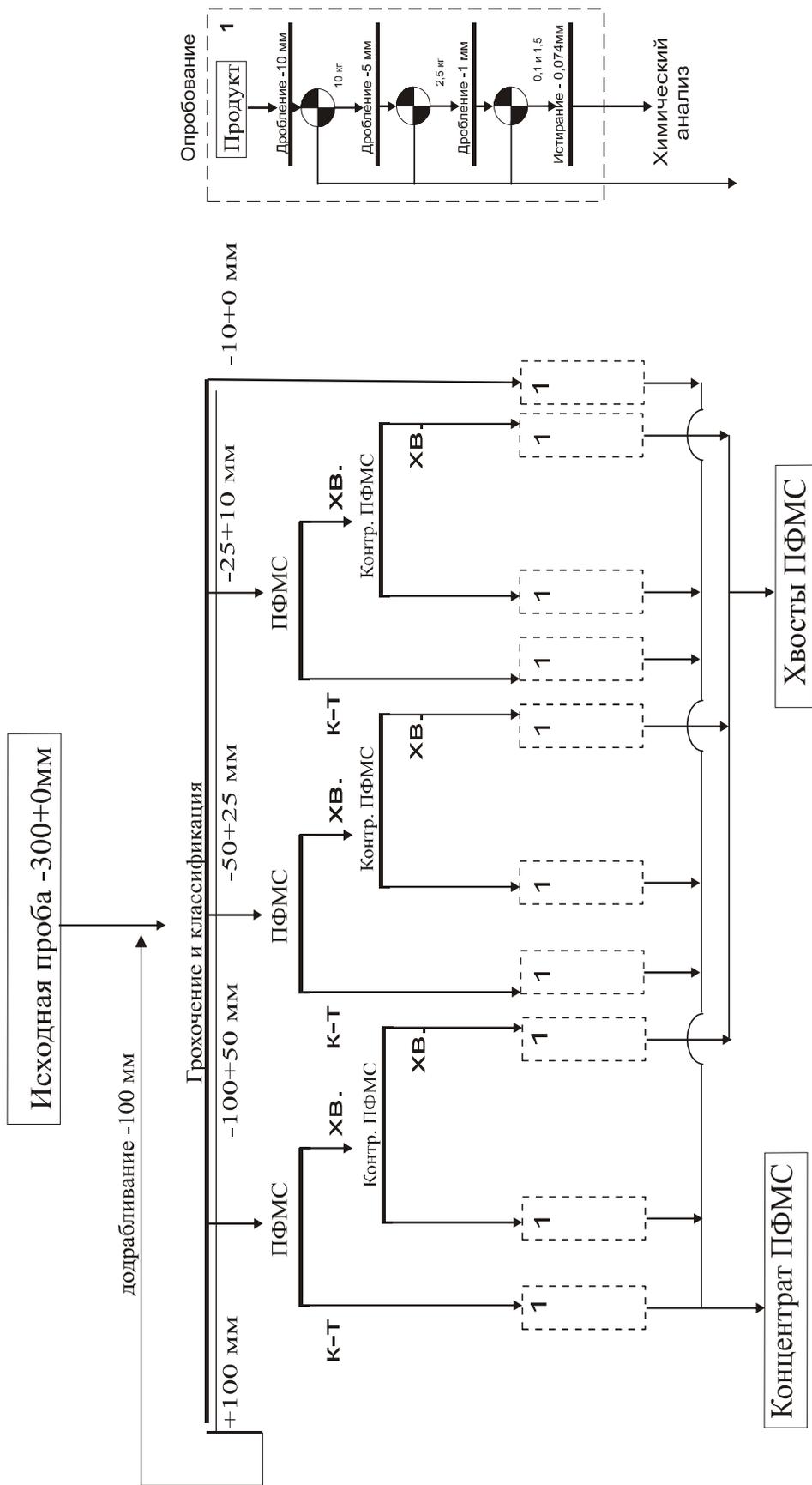


Рис. 5. Технологическая схема опытной сепарации основного материала пробы с выделением отвальных хвостов, где опробование продуктов производится в соответствии с детализационной схемой № 1

Таблица 8

Технологические показатели предварительного обогащения пробы методом ПФМС с выделением отвалных хвостов

Продукт	Выход, %		Содержание, %			Извлечение от класса, %			Извлечение от исх. пробы, %		
	от класса	от исх. пробы	C ₁	C ₂	C ₃	ε ₁	ε ₂	ε ₃	ε ₁	ε ₂	ε ₃
класс крупности -100 + 50 мм											
Концентрат											
Хвосты											
Исходный класс	100,0					100,0	100,0	100,0			
класс крупности -50 + 25 мм											
Концентрат											
Хвосты											
Исходный класс	100,0					100,0	100,0	100,0			
класс крупности -25 + 12 мм											
Концентрат											
Хвосты											
Исходный класс	100,0					100,0	100,0	100,0			
проба класса крупности -100 + 0 мм											
Σ Концентрат	-					-	-	-			
Σ Хвосты	-					-	-	-			
Отсев -12 мм	-					-	-	-			
Σ Концентрат +отсев	-					-	-	-			
Исходная проба	-	100,0				-	-	-	100,0	100,0	100,0

Поэтому они далее называются корреляционными признаками и являются предметом изучения при выборе признака разделения ПФМС для каждой конкретной руды.

Деление по видам на руды черных, легирующих и редких металлов – достаточно условно хотя бы потому, что в качестве легирующих выступают большинство черных, определенная часть цветных и все более увеличивающаяся в перспективе часть редких металлов.

Рассмотренные ниже результаты экспериментальных работ получены на материале технологических проб и их дубликатов, накопленных литотеккой института, с применением промышленных фотометрических сепараторов моделей GemStar-300 и GemStar-600 (табл. 1) перерабатывающих кусковой материал в диапазоне крупности -30+1 мм. Использовались навески проб руды массой порядка 20-50 кг, которые не претендуют на представительность по содержанию основных компонентов, но по своему вещественному составу, текстурно-структурным особенностям и цветовым характеристикам отвечают исходным технологическим пробам. В результате полученные данные показывают принципиальную возможность обогащения руды черных, легирующих и редких металлов методом ПФМС.

При этом для сравнения по технологическим показателям использовались данные рентгенорадиометрической сепарации смежных классов крупности -50+25 мм.

Результаты исследований на материале 28 технологических проб 27 месторождений сведены в табл. 9, 10, 11. Путем их анализа и обобщения определены корреляционные признаки и типовые критерии применимости ПФМС на рудах по указанным выше видам сырья.

6.1. Руды черных металлов

Отличительная особенность руд черных металлов (Cr, Mn, Fe) – высокие промышленные содержания в недрах и соответствующие им кондиции на металлургические и химические концентраты. Для высококачественных руд характерны массивные, пятнистые, крупно- и средне-вкрапленные текстуры, хорошо выдержанные цветовые характеристики основных рудных минералов, преимущественно черной, темно-серой и темно-бурой окраски, которые достаточно контрастно отличаются от окраски вмещающих пород. Эти особенности являются благоприятными предпосылками для применения обогащения методом ПФМС.

В процессе проведения испытаний по оценке обогатимости проб семи месторождений марганцевых и хромовых руд (табл. 9) в качестве корреляционных признаков выделялись прямые признаки – устойчивые цветовые характеристики основных рудных минералов: от буровато-серого до черного цвета для марганцевых минералов, от темно-серого до черного для хромитов. Характерно наличие цветовой контрастности с вмещающими породами, охватывающими палитру серых, желтых и зеленых тонов.

ПФМС позволяет на пробах руд марганцевых месторождений уверенно отделять хвостовые продукты, а при наличии богатой марганцевой минерализации (родохрозитовые руды Усинского или пиролюзит-псиломелановые руды Селезеньского месторождений) получать кондиционные кусковые концентраты для металлургии.

На пробе хромовых руд месторождения Центральное Рай-Изского массива цветовое различие хромитов, дунитов и серпентинитов обеспечивает получение кондиционного кускового металлургического концентрата.

В случае недостаточной цветовой контрастности, например, на рудах Сарановского месторождения, где вкрапленность хромшпинелидов близка по окраске к пироксенитам, а присутствующая в породе черная роговая обманка по цвету не отличается от хромита, качество хвостов и концентрата оказывается неудовлетворительным.

Признаки разделения и качество продуктов ПФМС марганцевых и хромовых руд

Типы руд	Компоненты	Месторождения, рудопроявления	Продукт	Рудовмещающие породы, руды	Признаки разделения	Содержание, %
Mn руды окисленные (оксидные), пластово-залежные	Mn	Селезенское	Mn концентрат	Валунчатые псиломелановые руды	Черный цвет псиломелана	42,48
			Хвосты	Ожелезненные песчаники	Желтый цвет гидрогетита	3,48
	Mn	Ванданское	Промпродукт	Псиломелан-нсугитовая руда	Черный цвет	19,87
Mn руды карбонатные	Mn	Сейбинское	Хвосты	Песчаники, аргиллиты	Серый цвет	1,35
			Mn концентрат	Пиrolозит-псиломелановые руды	Черный цвет псиломелана	36,80
	Хвосты	Алевролиты	Серые ожелезненные породы	6,24		
Cr руды стратиформного типа	Mn	Усинское	Mn концентрат	Родохрозитовая руда	Буровато-серый цвет	37,60
			Хвосты	Манганокальциты	Темно-серый цвет	15,50
	Cr ₂ O ₃	Сарановское	Cr концентрат	Хромиты	Темно-серый цвет	25,30
Cr руды альпийотипные	Cr ₂ O ₃	Калнинское	Хвосты	Серпентиниты, диабазы	Темно-зеленый до черного цвет	7,20
			Cr концентрат	Хромиты вкрапленные	Темно-серый цвет >60%	25,41
	Cr ₂ O ₃	Центральное Рай-Изского массива	Хвосты	Серпентиниты, карбонаты	Серовато-зеленый цвет	4,27
			Хвосты	Хромиты	Черный, темно-серый цвет	42,64
			Хвосты	Дуниты	Зеленовато-серый цвет	7,65

Таким образом, руды черных металлов, обладающие, как правило, относительным постоянством минерального состава, однотипной окраской рудных минералов и высоким содержанием полезного компонента на уровне п.10%, представляют собой перспективный объект для применения ПФМС как с целью предварительного обогащения, так и получения товарного кускового кондиционного концентрата для металлургической промышленности.

Типовыми критериями применимости ПФМС для руд черных металлов является устойчивость цветовой характеристики руды или вмещающей породы и цветовой контрастности между ними. При геологической документации горных выработок эти характеристики должны изучаться с применением электронных фотокамер с последующим обобщением по природным или технологическим типам.

Дополнительным критерием является устойчивость низких содержаний полезного компонента во вмещающей породе, обеспечивающая заданный не превышающий 10% уровень потерь в хвостовом продукте. Для оценки используются данные опробования горных выработок или керн скважин в пределах контуров рудных тел с учетом технологического разубоживания при добыче.

6.2. Руды легирующих металлов

К рудам легирующих металлов относятся руды следующих элементов: В, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Co, Mo, W. Руды хрома и марганца рассмотрены в группе черных металлов. В свою очередь руды титана и ванадия будут рассмотрены в группе редких металлов, а руды никеля и кобальта относятся к группе цветных металлов. Соответственно изучению подлежали пробы руд бора, молибдена и вольфрама.

К борным рудам (табл. 10), обогатимость которых изучалась на пробах двух основных промышленных типов, по уровню содержания полезного компонента и характеру корреляционных признаков применимы типовые критерии, аналогичные рудам черных металлов.

Особенностью молибденовых и вольфрамовых руд являются низкие промышленные содержания в недрах, вкрапленные текстуры, средне- и мелкозернистые структуры, а также характерные цветовые характеристики основных рудных минералов. Вмещающие породы обладают достаточно широкой гаммой окраски минеральных образований.

В ходе проведенных испытаний по оценке обогатимости проб 5-ти месторождений молибденовых руд и 3-х месторождений вольфрамовых (вольфрамитовых) руд (табл. 10) установлено, что прямые признаки разделения с использованием цветовых характеристик рудных минералов в силу низких промышленных содержаний на уровне сотых и первых десятых долей % и высокого уровня оптических помех не реализуются.

Признаки разделения и качество продуктов ПФМС руд легирующих металлов

Типы	Компоненты	Месторождение	Продукт	Рудовмещающие породы, руды	Признаки разделения	Содержание, %
Мо месторождения жильно-штокеркового типа в гранитах	Mo	Сорское	Мо концентрат	Жильный кварц, граниты	Окварцевание	0,70
			Хвосты	Микроклиниты	Розовый цвет	0,028
	Mo	Шахтоминское	Мо концентрат	Кварцевые прожилки в граните	Окварцевание	0,41
			Хвосты	Роговообманковый гранит	Серый гранит	0,09
Mo	Коктенколь	Пеллопахское	Мо концентрат	Кварцевые прожилки в граните	Окварцевание	0,076
			Хвосты	Лейкркатровые граниты	Серый, розоватый гранит	0,028
Mo-W месторождения жильного типа в грейзенах	Mo	Колгугинское	–	Гранит-порфиры	Не найдены	–
			Mo-W концентрат	Жильный кварц серый	Серый кварц	Mo – 0,92 WO ₃ – 1,41
	WO ₃	Холтосонское	Хвосты	Жильный кварц белый	Белый кварц (ожелезненный)	Mo – 0,04 WO ₃ – 0,04
			W концентрат	Жильный кварц	Серый кварц	0,75
W месторождения жильно-штокеркового грейзенового типа	WO ₃	Инкурское	Хвосты	Диориты, метасоматиты	Серый кварц	0,41
			W концентрат	Кварцевый штокерк	Окварцевание	0,29
	WO ₃	Ийско-Урикское	Хвосты	Диориты, метасоматиты	Желтовато-серый цвет	0,10
			W концентрат	Шеелит вкрапленный в гранитах	Фотолюминесценция шеелита	1,22
W месторождения скарнового типа*	WO ₃	Яхтон	Хвосты	Гранит-порфиры	–	0,02
			W концентрат	Шеелит вкрапленный в породе	Фотолюминесценция шеелита	0,98
	WO ₃	Баян	Хвосты	Мрамора, пироксеновые сланцы	–	0,03
			W концентрат	Шеелит вкрапленный в породах	Фотолюминесценция шеелита	0,55
Калийно-боратовые руды	WO ₃	Кенсу	Хвосты	Амфиболиты, пироксены	–	0,02
			W концентрат	Молебдо-шеелит вкрапленный в скарнах	Фотолюминесценция шеелита	0,80
	B ₂ O ₃	Индер	Хвосты	Гранат-пироксеновый скарн	–	0,34
			В концентрат	Ашарит	Белый цвет	26,5
Боросиликатные руды	B ₂ O ₃	Дальнегорское	Хвосты	Гипс	Серый цвет	5,10
			В концентрат	Датолитовый скарн	Светло-зеленый цвет	9,90
			Промпродукт	Скарн воластонит-геденбергитовый	Пестроцветная порода	7,20

* Результаты исследовательских работ по оценке принципиальной возможности рентгенолюминесцентного метода на базе фотосепараторов

В качестве корреляционных признаков при ПФМС использованы косвенные признаки, связанные с цветовыми характеристиками рудовмещающих жильных минеральных комплексов (кварца разных генераций) и разного генезиса кварцевого метасоматоза (окварцевания), а также калишпатизации. При этом на пробах богатых руд Сорского и Колгутинского месторождений получают обогащенные продукты и хвосты с высоким (>50%) выходом при вполне удовлетворительном уровне потерь. Однако наличие оруденения во вмещающих породах, слабо затронутых процессами метасоматоза (месторождения Коктенкольское, Шахтоминское, Инкурское и Холтосонское), приводит к недопустимым потерям в хвостах. Соответственно, по результатам опытных работ ПФМС для большей части месторождений молибденовых и вольфрамитовых гидротермальных жильно-штокверковых руд метод не может быть признан перспективным.

Типовым критерием применимости метода ПФМС является локализация оруденения в жильных или штокверковых образованиях, генетически связанная с жильной минерализацией (например, кварца определенной генерации) или пространственно совпадающая с метасоматическими рудными или пострудными изменениями (окварцевание, калишпатизация и т.п.), приводящая к проявлению характерной окраски руды, оптически (на уровне разрешения цифровой фотокамеры) отличимой от окраски вмещающих пород или, с другой стороны, наличие устойчивой, отличной от руды, окраски вмещающих пород.

Указанные различия и цветовые характеристики целенаправленно определяются и обобщаются при геологической документации горных выработок и керн скважин, а также в процессе технологических исследований.

Дополнительным критерием является устойчивость различия содержания полезного компонента в руде и вмещающей породе, обеспечивающая заданный уровень потерь в хвостовом продукте не выше 10%, которая определяется по данным опробования горных выработок или керн скважин в пределах контуров рудных тел с учетом технологического разубоживания при добыче.

Проведенные исследования с возбуждением люминесценции шеелита ультрафиолетовыми лампами показали, что прямой разделительный признак – фотолюминесценция шеелита обладает достаточной интенсивностью и помехоустойчивостью. При соответствующем оснащении сепаратора могут быть достигнуты высокие показатели обогащения (табл. 10). Исключение составила проба окисленных мелкозернистых шеелитовых руд месторождения Кенсу, где причиной высоких потерь в хвостах явилось гашение люминесценции гидроксидами железа и недостаточная разрешающая способность аппаратуры. Скарновые вольфрамовые месторождения с преимущественно шеелитовым оруденением являются перспективным объектом для применения исследуемого метода сепарации.

Типовым критерием применимости рентгенолюминесцентной сепарации для скарновых шеелитовых руд является ограничение по

крупности зерна $>0,3$ мм, присущее оптической системе сепаратора, вследствие чего обогащаются только средне- и крупнозернистые руды.

6.3. Руды редких металлов

В ряду полезных ископаемых к редкометалльным принято относить руды 26 преимущественно оксифильных металлов, из которых наибольшее применение имеют: Ta, Nb, V, Zr, Hf, Y, La, Sc, Sr, Be, Li, Cs, Rb. Собственно редкометалльные месторождения, как правило, поликомпонентные. Комплексные месторождения, содержащие кроме редких металлов другие полезные ископаемые, называются гетерокомпонентными. Генетически они приурочены к определенным типам и комплексам пород, которые в зависимости от интенсивности рудообразующей переработки меняют свои характеристики, в том числе и цветовые. Последние могут быть использованы при разделении руд методом ПФМС на технологические типы, а также с целью отделения вмещающих пород.

Для абсолютного большинства руд редких металлов за исключением Sr, Li и Rb характерны средние содержания на уровне 0,0п%. Это обуславливает отсутствие возможности использования прямых признаков – цветовых характеристик собственных минералов редких металлов. Перспективы применения ПФМС связаны в первую очередь с использованием цветовых характеристик минералов-концентраторов или минералов, связанных тесной парагенетической связью с минералами редкометалльной группы, таких как титаномагнетит, альбит, микроклин, кварцит, слюды и др. Соответственно, и те, и другие при устойчивости связей могут сыграть роль корреляционных признаков (табл. 11).

Типовые критерии для ванадий-титан-железородных месторождений аналогичны таковым для руд черных металлов, где решается задача отделения вмещающих ультраосновных пород при наличии цветовой контрастности (Куранахское месторождение).

Типовые критерии для оруденения в редкометалльных гранитах и щелочных кральмитах (танталовые и литиевые руды) – наличие своеобразных различий в цветовых характеристиках разностей рудообразующих и рудовмещающих пород, с которыми связаны устойчивые изменения компонентного состава руд (Катугинское, Этыкинское месторождения).

Типовые критерии для редкометалльных пегматитов – развитие блочных структур с различными минералогическими особенностями, отражающимися в цветовых характеристиках, которые можно использовать для выделения технологических типов и сортов руд (Вишняковское и Завитинское месторождения).

Таблица 11

Признаки разделения и качество продуктов ПФМС редкометалльных руд

Типы	Металлы	Месторождение	Продукт	Рудовмещающие породы, руды	Признаки разделения	Содержание, %
V-Ti-железорудный	V, Ti	Гусевогорское	-	Магнетит в пироксенитах	Не обнаруживаются	На уровне исх. руды
	V, Ti, Fe	Куранахское	V-Ti-Fe концентрат Хвосты	Титаномагнетит Плагиоклазиты	Цвета: титаномагнетит – черный Цвета ожелезнения серой породы	0,64 V ₂ O ₅ 0,08 V ₂ O ₅
Редкометалльные граниты	Ta, Li	Этыкинское	-	Амазонитовые, альбитовые граниты и грейзены	Цвета: амазонит – зеленый, альбит – белый, кварц – серый	На уровне исх. руды.
	Ta, Li	Орловское	-	Альбитовые граниты	Не обнаруживаются	На уровне исх. руды
Щелочные квальмиты	Ta, Zr, ΣTR	Кагугинское	Zr-Ta концентрат	Порфиробластовый гранит	Микроклин с редкой вкрапленностью до 5% темноцветных	0,015 Ta ₂ O ₅ , 0,92 ZrO ₂ 0,18 ΣTR ₂ O ₃
			Zr, ΣTR концентрат	Гнейсы	~20% темноцветных минералов	0,008 Ta ₂ O ₅ , 0,46 ZrO ₂ 0,16 ΣTR ₂ O ₃
			Хвосты	Амфиболиты	>90% темноцветных	0,001 Ta ₂ O ₅ , 0,04 ZrO ₂ 0,04 ΣTR ₂ O ₃
Редкометалльные пегматиты	Ta, Li	Завитинское	Ta концентрат	Мелкозернистый альпитовидный альбит	Светлосерые альпитовидные альбиты	0,012 Ta ₂ O ₅ 0,16 Li ₂ O
			Li концентрат	Пегматиты полевошпатовые	Белые крупнозернистые альбит и микроклин	0,003 Ta ₂ O ₅ 0,78 Li ₂ O
			Ta, Li концентрат	Кварц-слюдяной альбитовый грейзен	Серый кварц	0,015 Ta ₂ O ₅ 0,47 Li ₂ O
			Ta концентрат	Альбит	Белые альбиты	0,021 Ta ₂ O ₅ 0,08 Li ₂ O
Редкометалльные пегматиты	Ta, Li	Вишняковское, пегматиты	Li, Ta концентрат	Грейзенизир. альбит	Серый кварц-слюдистый альбит	0,027 Ta ₂ O ₅ 0,25 Li ₂ O
			Li концентрат	Микроклин	Светло-бежевый микроклин	0,52 Li ₂ O 0,007 Ta ₂ O ₅
			Хвосты	Амфиболиты	Черные амфиболиты	0,03 Li ₂ O 0,003 Ta ₂ O ₅
Вишняковское, кварциты	Ta, Li	Вишняковское, кварциты	Li концентрат	Спудуменовые кварциты	Розовые спудуменовые кварциты	6,60 Li ₂ O 0,006 Ta ₂ O ₅
			Ta Li концентрат	Альбиты	Белые и светло-серые альбиты	1,51 Li ₂ O 0,012 Ta ₂ O ₅

6.4. Обобщенные критерии и их предварительная оценка

При сравнении значимости установленных в процессе исследований корреляционных признаков в качестве наиболее надежных выделяются: а) прямые признаки по цветовой характеристике минерала или вмещающей породы; б) косвенные – по цветовым характеристикам главным образом кварцевой минерализации пород и руд: жильной, штокверковой, окварцевания, ороговикования.

Обобщая сформулированные в предыдущих разделах критерии применимости ПФМС для типов руд, следует выделить два основных вида критериев.

1. Для руд черных и редких металлов типовыми критериями применимости ПФМС является устойчивость цветовой характеристики руды или вмещающей породы, наличие цветовой контрастности между ними, а также устойчивость низких содержаний полезного компонента во вмещающей породе, обеспечивающая заданный уровень потерь, не превышающий 10% в хвостовом продукте.

2. Для руд легирующих металлов типовыми критериям применимости метода ПФМС являются локализация оруденения в жильных, штокверковых образованиях или в минералах парагенетически связанных с минерализацией полезного компонента, например пиритом, кварцем определенной генерации, а также пространственное совпадение с сингенетичными или пострудными метасоматическими изменениями руды (окварцевание, калишпатизация), которые приводят к проявлению характерной окраски руды, оптически отличимой от окраски вмещающих пород. С другой стороны, типовым критерием может быть наличие устойчивой, отличной от руды окраски вмещающих пород, в которых обеспечивается заданный уровень потерь полезного компонента.

Указанные различия и цветовые характеристики целенаправленно определяются и должны фиксироваться при геологической документации горных выработок и особенно керн скважин с применением электронных фотокамер. Керн в ящиках предварительно размечается по рудным и безрудным интервалам, фотографируется в сухом и влажном виде. Фотодокументация керна в ящиках с обозначением границ рудных интервалов совместно с геологической документацией, а также качественные фотографии кускового материала направляются в специализированную организацию для выявления цветовой контрастности на аппаратуре эмулирующей ПФМС.

Литература

1. Платонов А.Н. Природа окраски минералов. Киев.: Наукова думка. 1976. 264 с.
2. Отбор технологических проб при геологоразведочных работах на рудные полезные ископаемые. Методические рекомендации НСОМТИ № 102. М.: ВИМС. 2014. 26 с.
3. Справочник по обогащению. Подготовительные процессы. М.: Недра. 1982. 366 с.

Подписано в печать 21.09.2018 г.
Формат 60×90 /16. Усл. печ. л. 1,7
Тираж 30 экз. Заказ № 11.

Редакционно-издательский сектор (РИС) ВИМС.
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31. Тел. (495) 9503180
Отпечатано на ризографе в РИС ВИМС.