

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 № 131

**ОЦЕНКА РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБОГАТИМОСТИ РУД
МЕТОДАМИ КРУШНОПОРЦИОННОЙ СОРТИРОВКИ И
ПОКУСКОВОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Москва, 2018 г.

РАЗРАБОТАНЫ: Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»)

ИСПОЛНИТЕЛИ: Рябкин В.К., Котлер Н.И., Коткин В.А.

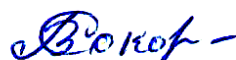
РАССМОТРЕНЫ И ПРЕДСТАВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ: Научным советом по методам технологических исследований (НСОМТИ), протокол № 4 от 23 мая 2018 г.

Председатель НСОМТИ



Курков А.В.

Ученый секретарь
НСОМТИ



Соколова В.Н.

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

Руководитель
ФНМЦ «ВИМС»:



Рогожин А.А.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	5
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОТ	6
3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ	8
4. ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КРУПНОПОРЦИОННОЙ СОРТИРОВКИ	13
5. ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ ПО СЕПАРАЦИИ РУДЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ	16
6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ОПЫТНЫХ УСТАНОВКАХ ИЛИ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ФАБРИКАХ	19
7. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ	20
8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ	21
ЛИТЕРАТУРА	23
Приложение 1. Принципиальные возможности применения радиометрических методов для крупнопорционной сортировки	24
Приложение 2. Возможности применения радиометрической сепарации	27

Принятые сокращения специальной терминологии

РО – радиометрическое обогащение – процесс механической обработки добытой горнорудной массы, при котором разделение ее на продукты производится автоматически на основе регистрации различных видов излучений или электромагнитных волн, измеряемых электронными устройствами (см. приложение табл. 1 и 2).

КС – крупнопорционная радиометрическая сортировка – процесс разделения руды на сорта на основе измерения интенсивности излучения крупных ее объемов, загруженных в транспортные емкости (вагонетки, скипы, автосамосвалы).

РКС – рудоконтролирующая станция – специализированная установка для крупнопорционной радиометрической сортировки добытой горнорудной массы и руды.

РС – радиометрическая сепарация – процесс радиометрического обогащения кускового материала горнорудной массы крупностью $-300 + 5$ мм на сепараторах, реализующих различные методы РО.

Признак разделения – оптимальное для автоматического разделения физическое свойство руд или вмещающих пород, фиксируемое детекторами (сенсорами). Параметром признака разделения является обработанный программой результат измерения.

РОФ – радиометрическая обогатительная фабрика.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Методические рекомендации предназначены геологоразведочным организациям и технологическим исследовательским центрам для проведения опытных экспериментальных работ по радиометрическому обогащению (РО) с подготовкой материалов к утверждению ТЭО кондиций, подсчету запасов, составлению технологических регламентов в соответствии с «Требованиями к изучению радиометрической обогатимости минерального сырья при разведке месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых» ГКЗ РФ [1].

1.2. Область применения – разведка месторождений твердых полезных ископаемых, по которым проведена предварительная оценка промышленного значения месторождения и обоснована целесообразность дальнейших разведочных работ.

1.3. Необходимые предпосылки – выделенные промышленные (технологические) типы руд, вскрытые открытыми или подземными горными выработками полного профиля для ведения горных работ, результаты лабораторных исследований с прогнозной оценкой радиометрической обогатимости руд и вариантами принципиальных схем на предшествующих стадиях ГРР, а также аппаратурная и методическая обеспеченность предлагаемой технологии.

1.4. Целью работ является обоснование рациональной технологической схемы предварительного обогащения для максимальной полноты извлечения основных и попутных компонентов в товарную продукцию при приемлемой для недропользователей рентабельности производства.

1.5. Основные решаемые задачи:

- подтверждение прогнозных показателей РО экспериментальными результатами опытно-промышленных работ и полупромышленных испытаний технологических проб,
- обоснование оптимальной технологической схемы радиометрического обогащения с разработкой технологии процессов сортировки и сепарации,
- наработка продуктов для составления технологических проб и проведения полупромышленных испытаний по глубокому обогащению как с предварительным РО, так и без него,
- увязка технологии РО с технологией горных работ и последующим циклом глубокого обогащения.

1.6. Применение на заключительной стадии добычи крупнопорционной сортировки в транспортных емкостях на рудоконтролирующих станциях (РКС) по результатам радиометрического экспресс-опробования обеспечивает предварительное радиометрическое обогащение отбитой горнорудной массы (ГРМ). В результате из ГРМ выделяются: отвальная порода, забалансовая руда и кондиционная руда. Последняя в свою очередь делится на бедную руду, направляемую обычно на обогащение методами

радиометрической сепарации (РС), и товарную руду, отвечающую требованиям технологии глубокого обогащения. Покусковая радиометрическая сепарация бедной руды, включающая предварительную рудоподготовку (крупное дробление и грохочение с выделением машинных классов), проводится в условиях радиометрических обогатительных фабрик (РОФ) или опытных установок на борту карьера.

1.7. По результатам работ определяются технологические показатели обогащения, которые могут быть использованы в качестве исходных данных для ТЭО постоянных кондиций, подсчета запасов, технологических регламентов на проектирование предприятий, а также при реализации проектов разведочных эксплуатационных предприятий (РЭП) по отработке с применением РО части запасов в процессе разведки месторождений.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОТ

2.1. Экспериментальные работы по оценке обогатимости руд при разведке месторождений в силу их технологической значимости, трудоемкости, необходимости приобретения специального оборудования и выполнения определенных объемов капитального строительства относятся к полупромышленным испытаниям и предусматриваются в специальном технологическом разделе проекта.

2.2. На проведение полупромышленных испытаний по обогащению технологических проб заключается договор с организацией, специализирующейся в этой области.

2.3. При необходимости проведения экспериментальных работ и отбора технологических проб, не предусмотренных проектами геологоразведочных работ, основополагающим документом является техническое задание (ТЗ). В нем указывается: основание для проведения работ, цель и объект технологических исследований, организация, проводящая исследования, сроки исполнения, источники и порядок финансирования. На основании ТЗ составляется проект на технологические исследования, разработчиками которого становятся геологоразведочная организация, генеральный проектировщик и организация, выполняющая исследования по обогащению.

2.4. В проекте на технологические исследования по радиометрическому обогащению согласно [2, 3] должны быть отражены следующие положения:

- целевое назначение и стадия комплексных технологических исследований, включающих РО,

- сведения о разведанности месторождения, методике его разведки и изученности технологических свойств руд,

- характеристика вещественного состава руд по выделенным промышленным (технологическим) типам руд, включающая минеральный и химический составы для минеральных ассоциации и природных разновидностей с закономерностями их распределений. Физические

показатели по технологическим типам руд: твердость, крепость, объёмная масса, влажность и т.д.,

- результаты прогнозной оценки РО руд по технологическим типам, включающие оценку порционной неравномерности (контрастности) в недрах по данным опробования керна скважин и горных выработок, а также покусковую неравномерность руд по данным дифференциального в интервале 5-10 см геофизического опробования и каротажа,

- данные о наличии и состоянии горных выработок,

- проектируемые системы разработки месторождения,

- обоснование выбора участков и объемов горных работ для экспериментальной сортировки руд в транспортных ёмкостях с целью определения технологических показателей крупнопорционной сортировки по каждому промышленному (технологическому) типу,

- обеспечение достаточной надежности выбранных способов контроля качества продуктов сортировки и сепарации,

- технические условия (ТУ) на отбор технологических проб,

- обоснование и выбор количества участков для отбора технологических проб,

- обоснование объемов дополнительных геологоразведочных работ, в том числе горных работ, необходимых для проведения технологических экспериментов и отбора представительных проб,

- способы отбора и разделки технологических проб. При взрывном способе отбойки составляется паспорт буровзрывных работ, который должен предусматривать необходимую кусковатость, обеспечивающую максимальный выход руды сепарируемых классов крупности -250+25 мм, а для ценного неметаллического сырья -250+10 мм,

- упаковка материала пробы, хранение и транспортировка к месту исследований,

- оборудование и штаты, необходимые для проведения технологических работ; смета и сроки выполнения,

- организации, осуществляющие методическое руководство исследованиями или проводящие технологические исследования.

2.5. Технические условия на отбор технологических проб согласно методическим рекомендациям [4] содержат следующие основные положения:

- целевое назначение пробы (исследование промышленного (технологического) типа, сорта руды, рудной залежи и т.п.). Стадия и задачи технологических исследований (принципиальная возможность обогащения руды, в том числе и методами РО, разработка промышленной схемы и пр.),

- масса пробы, достаточная для исследования методами РС и последующего глубокого обогащения при полупромышленных испытаниях, составляет от 20 до 3000 и более тонн руды,

- гранулометрический состав руд в пробе с указанием допустимых выходов: класса крупности выше 250 мм и мелочи ниже 20 мм,

- количество природных разновидностей и технологических сортов руд, включаемых в пробу, и их соотношение,
- минеральный и химический составы (средние с допустимыми пределами отклонений) каждой природной разновидности и промышленного (технологического) типа или сорта,
- расчетные содержания и формы нахождения главных и попутных полезных компонентов, а также вредных примесей (расчетное содержание определяют путем укрупненного подсчета содержаний компонентов в характеризующей этой пробой запасах данного сорта, типа руды, рудного тела, части месторождения или всего месторождения с учетом примешивания некондиционной руды и вмещающей породы к объемам, планиваемым при промышленной отработке руды),
- количественная оценка вредных примесей, осложняющих получение кондиционных концентратов,
- структурно-текстурные особенности руд с особым вниманием к средней крупности (вкрапленности) зерен главных рудных минералов и характеру сростания их с нерудными,
- средний минеральный и химический составы технологической пробы с учетом разубоживания,
- характеристика примешиваемых некондиционных руд и вмещающих пород в пробе, их минеральный и химический составы с обязательным определением вредных и полезных компонентов,
- прогнозные показатели крупнопорционной сортировки, оцененные в естественном залегании для руд, вошедших в пробу, с учетом разубоживания,
- прогнозные показатели РС для отбитой горнорудной массы пробы с учетом перемешивания при отбойке и транспортировке,
- физико-механические свойства руд и примешиваемых пород: твердость, крепость, объёмная масса, влажность и др.,
- обоснование представительности отбираемой пробы промышленному (технологическому) типу или сортам, если они перерабатываются отдельно,
- методика контрольного опробования руды на этапах формирования пробы.

2.6. К проекту прилагается необходимая геологическая, геофизическая и технологическая документация.

3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

3.1. Экспериментальным исследованиям (полупромышленным, опытно-промышленным) с оценкой радиометрической обогатимости руд предшествует геолого-технологическое картирование с выделением промышленных (технологических) типов, в результате которого получают исходные данные для выбора участков проектируемых работ, характеризующих рудное тело по падению и простиранию не менее, чем тремя пересечениями (два по флангам и

одно по центру). Рассчитываются интегральные распределения содержаний полезных компонентов по интервалам опробования и по интервалам, эквивалентным порциям радиометрической сортировки.

3.2. Выбор участков экспериментальных горных работ для полупромышленных испытаний радиометрической крупнопорционной сортировки производится для каждого промышленного (технологического) типа в количестве, обеспечивающем представительность по средним содержаниям основных и сопутствующих компонентов (их геостатистических распределений); по показателям порционной неравномерности (так называемой *контрастности руды* в недрах), оцениваемым в естественном залегании по данным геологического и геофизического опробования; а также по морфологическим особенностям рудных тел, определяющим внутриконтурные перерывы оруденения и внеконтурное примешивание. Чем меньше число участков для каждого типа, тем более высокие требования предъявляются к обоснованию их представительности.

3.3. В период подготовительных работ обязательно использование наиболее оперативных и информативных методов определения содержания полезных и попутных компонентов в естественном залегании как гамма- и рентгенорадиометрическое опробование, каротаж скважин с дифференциальной интерпретацией, обеспечивающих интервал опробования 5-10 см, соответствующей минимальной порции – куску.

3.4. Обязательной является градуировка аппаратуры ядернофизического опробования непосредственно на рудах изучаемого типа, которая учитывает влияние всех мешающих факторов. Например, для рентгенорадиометрического метода в качестве основного фактора, влияющего на чувствительность измерений, является изменчивость среднего размера зерна минерала полезного компонента.

3.5. В подготовительный период проводятся опытно-методические работы с выбранной аппаратурой рудоконтролирующих станций и сепараторов (табл. 1) с целью изучения ее особенностей и устранения влияния методических погрешностей.

3.6. Основой процесса порционной сортировки РО служит экспресс-опробование отбитой горнорудной массы в транспортных емкостях. Для его реализации необходимо оборудование РКС стационарной аппаратурой определения содержания полезного компонента в транспортных емкостях (вагонетках, ковшах погрузо-доставочных машин, скипах, автосамосвалах, железнодорожных вагонах), системой исполнительных механизмов, стрелок, накопительных путей и штабелей. Датчики РКС располагаются по обе стороны боковых бортов емкости (радиоактивные руды) или над открытой поверхностью ГРМ в транспортной емкости на расстоянии 0,5 м от ее среднего уровня при крупности кусков -300 мм, обеспечивая во всех вариантах сквозное прохождение под устройством. В случае экспресс-опробования рудного навала с крупными глыбами до -1000 мм в автосамосвалах и ж/д вагонах расстояния соответственно увеличиваются, что

существенно ухудшает чувствительность измерений, ограничивая возможность применения в первую очередь малоглубинных методов измерения (рентгенорадиометрического и др.).

Таблица 1

Технические характеристики отечественных и некоторых зарубежных сепараторов, установок РКС

Типы сепараторов, РКС (разработчик)	Класс крупн., мм	Условия измерения	Кол-во каналов	Детектор	Источники возбуждения	Производительность, т/ч
Рентгенорадиометрические						
СРФ4-50, СРФ4-150; СРФ4-3П-150, СРФ3-300 (ООО Радос, Красноярск)	-300+25	свободное падение	3-4	СИ-11Р2,3 СИ-13Р, SDD	РТ	50-2
РКС-А (ООО Радос, Красноярск, ОАО «Интегра», Москва)	-500	автосамосвалы	1	SDD	РТ	1000
Рентгенолюминесцентные						
ЛСОД-50 (НПО Буревестник, СПб)	-50+4	свободное падение	4	ФЭУ-100-1	РТ	5-0,2
СЛ (ТОО ЭГОНТ, СПб)	-50+10	свободное падение	2	ФЭУ-100-1	РТ	30-3
Фотометрические						
GemStar, Belt Compact, Graviti (Aliud GmbH, Гамбург, ФРГ)	-250+1	свободное падение	монослой	Фотокамера	люм. лампа, светодиод	250-0,5
Pro-Secondary Color (ТОМРА, Гамбург, ФРГ)	-250+2	свободное падение	монослой	Фотокамера	люм. лампа, лазер	250-0,5
Радиорезонансные						
М-19Q («Ore Sorters Ltd»)	-150+25	свободное падение	2-5	К. индукт.	13,56 МГц	120-40
Фотонейтронные						
РМБЛ-300* (ВНИИХТ, Москва)	-200+25	лента. тр.	1	Т-2	Sb-124	15-3
Гаммарадиометрические						
«Агат», «Ишим», РСР-4 «Вихрь» (НПК АиМ Восточный ГОК, Желтые Воды, Украина)	-50+25	свободное падение	4	NaJ	-	10
	-200+50	свободное падение	2	NaJ	-	120-80
РКС (НПК АиМ Восточный ГОК, Желтые Воды, Украина)	-500	автосамосвалы	1	NaJ	-	1000
Гамма-рентгеноабсорбционные						
«Рубин», «Минерал» (НПК АиМ Восточный ГОК, Желтые Воды, Украина)	-100+25	лента. тр.	3-6	NaJ	Am-241	8-2
	-200+50	лента. тр.	2	NaJ	Gd-153	18-12
XRT-Secondary Sorter (ТОМРА, Гамбург, ФРГ)	-50+5	свободное падение	монослой	NaJ	РТ	40-2

Примечание: РТ – рентгеновская трубка; К.индукт. – катушка индуктивности, SDD – кремниевый-дрейфовый детектор; * – опытные образцы сепараторов 1980 г.

3.7. Суммарная погрешность определения содержания компонента в порции складывается из погрешностей: представительности измеряемого слоя (основная погрешность), суммы методических погрешностей, определяемых геологическими и геометрическими факторами, а также аппаратной погрешности, величина которой должна быть по крайней мере в 3 раза ниже первых двух, чтобы она не подлежала учету.

В приближении рассмотрения ГРМ как смеси однородных кусков руды и породы одинаковой крупности предел обнаружения содержания полезного компонента C_n по погрешности представительности измеряемого поверхностного слоя всей массе руды при доверительной вероятности 0,95 определяется выражением [5]:

$$C_n = \frac{4 \cdot a^2 \cdot k \cdot h \cdot C_p \cdot \rho_p}{n \cdot v \cdot \rho_r},$$

где: a – средняя крупность куска по ситовому анализу, м,

n – количество слоев толщиной a (м), участвующих в измерении,

k – коэффициент разрыхления, отн. ед.,

v – объем ГРМ в вагонетке с глубиной засыпки h (м), м³,

C_p – среднее содержание в рудных кусках по опробованию рудных интервалов, %,

ρ_p, ρ_r – объёмные массы руды и горнорудной массы, т/м³.

Следует отметить, что в процессах проведения очистных работ (взрывных работ, последующей откатки и вертикальной транспортировки или экскавации при открытой добыче) степень перемешивания ГРМ достаточно высока, чтобы обеспечить достаточную представительность экспресс-опробования ГРМ в транспортных емкостях для единичных порций с бортовым содержанием с относительной погрешностью на уровне 20-30%.

3.8. Сортировке ГРМ должны предшествовать опытно-методические работы, целью которых является выяснение степени воздействия мешающих факторов на результаты измерений, и, в конечном итоге, градуировка аппаратуры на рудах каждого типа.

Для наиболее универсального рентгенорадиометрического метода измерений учет влияния мешающих элементов и изменения минерального состава вмещающей среды (т.н. матричного эффекта) осуществляется путем обработки информации на уровне амплитудных спектров с определением необходимых коэффициентов на моделях дробленых руд класса крупности -10+2 мм при обязательном удалении мелочи. Материал модели с массой порядка 20 кг измеряется на лотке площадью, перекрывающей площадь измерения датчика, с соблюдением толщины насыщенного слоя для самого жесткого излучения. Число моделей определяется количеством разновидностей руд и вмещающих пород.

Градуировку РКС следует выполнять непосредственно на емкостях с рудой, чтобы учесть, например, структурные особенности руды и их изменения в отбитой горнорудной массе. В оптимальном варианте

измеренная порция целиком опробуется валовым способом. В упрощенном варианте предлагаются следующие операции:

- после измерения вагонеток с характерной для участка рудой отбираются вагонетки с равномерным заполнением, средней кусковатостью и содержаниями, близкими к среднему в партии данной отбойки по измерениям на РКС,

- в пробу с поверхности руды в вагонетке отбирается задиrkовая проба площадью, соответствующей площади измерения датчика, и глубиной, равной принятой глубинности метода измерений, а для малоглубинных методов равной среднему размеру куска,

- отобранная проба распределяется на лотке таким же образом, как и материал моделей, измеряется на РКС с многократным перемешиванием в геометрических условиях рядовых измерений руды в вагонетках,

- кусковой материал пробы измельчается по обычной для опробования схеме с сокращением до аналитической крупности,

- анализ выполняется двумя лабораториями желательнo разными методами,

- результаты анализов сравниваются со средними данными многократных измерений на РКС; корреляционные зависимости аппроксимируются функциональными или кусочно-линейными зависимостями с выводом аналитических выражений для последующего вычисления содержания компонента.

На каждом участке достаточно получить по 30 сопоставлений в диапазоне характерных содержаний. Всего по каждому типу руды (вскрытому и прослеженному по падению и простиранию по трем пересечениям горными выработками) для градуирования РКС требуется не менее 100 сопоставлений.

В случае экспресс-анализа руды в автосамосвалах или ж/д вагонах градуировка РКС осуществляется путем сопоставления с контрольным опробованием порций на входе обогатительной фабрики или завода. В силу высокой представительности последнего количество сопоставлений может быть сокращено.

3.9. Складирование продуктов сортировки (порода, забалансовая руда, кондиционная руда и ее сорта) требует организации отвального хозяйства. Необходимо подготовить отдельные площадки для штабелирования всех продуктов сортировки руды, отработанных в пределах технологических контуров рудных тел, и аналогичных продуктов каждого технологического эксперимента или технологической пробы. Площадки привязываются на местности с вынесением на план, а штабели отмечаются указателями.

4. ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КРУПНОПОРЦИОННОЙ СОРТИРОВКИ

4.1. Экспериментальные работы по крупнопорционной сортировке в транспортных емкостях по технологии работ и технической оснащённости относятся к полупромышленным технологическим испытаниям. При этом объём добычи только при опытных работах должен обеспечить набор необходимого статистически значимого материала по всем заданным продуктам и сортам руд в процессе сортировки.

4.2. Показатели крупнопорционной сортировки в значительной мере зависят от того, насколько экспериментальные горные работы моделируют будущие очистные работы, а именно: соблюдается направление проходки выработок по простиранию и падению, правильно обозначаются и соблюдаются технологические контуры отбойки рудного тела с заданным внеконтурным и внутриконтурным разубоживанием. Способ взрывной отбойки должен соответствовать проектируемому для очистных работ. Особые требования предъявляются к применяемому паспорту буровзрывных работ, который должен обеспечивать заданную кусковатость ГРМ с максимальным выходом сепарируемых классов крупности $-250+25$ мм. Следует учитывать, что при подземной добыче валовый способ взрывной отбойки в открытое пространство выработки приводит к существенному, вплоть до полного, перемешивания ГРМ, лишая ее порционной неравномерности (контрастности). Селективный способ отбойки обеспечивает сохранение порционной контрастности, а при отдельной откатке руды и разубоживающей породы повышает эффективность разделения на РКС.

В условиях открытых разработок с отработкой руды путем разрушения взрывом без существенного перемещения естественная неравномерность, а следовательно и порционная контрастность, сохраняются. Однако, такие процессы как последующая эскавация, перебункеровка, крупное дробление без принятия специальных организационных мер существенно снижают порционную контрастность.

4.3. Порционную контрастность ГРМ после взрывной отбойки важно сохранить при откатке руды от забоя, исключив операции, способствующие ее интенсивному перемешиванию (скреперование, перепуски через рудоспуски большого сечения и др.). Поэтому сортировка на РКС обычно организуется на стадии горизонтальной транспортировки ГРМ в емкостях до ее перепуска с горизонта на горизонт через рудоспуски большого сечения и засыпки в бункеры большой емкости.

4.4. Обязательным условием является организация бирочного учета порций с привязкой каждой к месту отбойки.

4.5. Горные работы выполняются по рабочим проектам и сопровождаются детальными маркшейдерскими замерами после каждой отбойки. Допустимые отклонения от проекта по объёму не должны превышать 10%. Точность соблюдения контуров отбойки задается средними

отклонениями, не превышающими половину расстояния между взрывными шпурами или скважинами. Особое внимание обращается на качественное выполнение и своевременное прохождение маркшейдерской документации, а также согласованность ее с геофизической и геологической документацией.

4.6. Отбойка ГРМ ведется с учетом данных геофизического опробования забоев и скважин. Геофизическое опробование выполняется до и после отбойки по детальной сети профилей через 1 м с шагом 10 см вкрест простирания рудного тела с составлением карт опробования каждого забоя. На карты наносятся заданные и фактические границы отбойки рудного тела в соответствии с геологическими критериями и учетом разубоживания. По каждой отпалке, используя данные опробования, ведется оперативный подсчет средних содержаний, количества добытого полезного компонента, отбитой массы, коэффициента примешивания разубоживающей массы.

4.7. Контроль геофизического опробования ведется бороздовым способом по сети совмещенных профилей. Границы секционного отбора проб задаются по данным геофизического опробования.

4.8. Подготовительные и очистные выработки подвергаются детальной геологической документации с обязательным учетом данных геофизического опробования. При этом уточняется соответствие добываемых руд изучаемому типу по геологическим параметрам и критериям.

4.9. Экспресс-опробование и сортировка на РКС по порциям в транспортных емкостях ведется отдельно по каждому технологическому типу с градуировкой, соответствующей данному типу. Время измерения одной порции обычно составляет 10-60 с. Одновременно фиксируются данные бирочного учета для установки адреса порции.

4.10. Сортировка ведется по содержанию основного компонента или по комбинированному (условному содержанию для ряда компонентов) признаку разделения. Возможна сортировка по косвенным признакам разделения (содержаниям сопутствующих элементов, коррелирующим с основным компонентом, цветовым характеристикам и пр.). Границы разделения выбираются согласно прогнозной схеме РО с учетом требований по качеству продуктов ТЭО кондиций месторождений-аналогов. В результате сортировки могут быть выделены следующие продукты:

- отвальная порода, которая выделяется из горнорудной массы, отбитой в технологическом контуре рудного тела. Граница сортировки устанавливается на уровне бортового содержания. Содержание в отвальном продукте из-за примешивания руды в процессе отбойки и откатки (эскавации) приближается к граничному. Отвальный продукт складывается в отдельный штабель, в который не должна попадать порода с проходки других (например, подготовительных) выработок,

- некондиционная руда, если таковая предусматривается при подсчете запасов в качестве забалансовой,

- кондиционные бедная или рядовая руды, которые должны подвергаться предварительному обогащению методами радиометрической сепарации,

- товарная руда, по своему качеству отвечающая требованиям поставки потребителю.

Граница сортировки устанавливается исходя из условий обеспечения заданного среднего содержания для последующего обогащения. Из товарной руды могут быть дополнительно выделены указанные ниже сорта:

- богатая руда, отличающаяся по своему качеству от товарной руды настолько, что может быть использована для подшихтовки концентрата сепарации бедной и рядовой руды, а в отдельных случаях в качестве готового концентрата в металлургический передел,

- особо ценные или содержащие вредные примеси сорта руды, выделение которых может принести экономический эффект или существенно упрощает последующую технологию переработки.

Представительные порции каждого продукта должны быть опробованы путем отбора задирковых проб с поверхности ГРМ в транспортных емкостях. Количество проб должно обеспечить минимизацию систематической погрешности экспресс-опробования на РКС.

4.11. Складирование продуктов сортировки горнорудной массы с экспериментальных работ производится отдельно по типам руд и виду продуктов с ведением соответствующей документации по штабелям.

4.12. Контрольное опробование штабелей выполняется по определенной сети методом вычерпывания с перемешиванием при наличии тяжелой техники или путем опробования стенок канав и шурфов, пройденных в штабеле.

4.13. Результаты экспресс-опробования на РКС сравниваются по отдельным проходкам (отпалкам) с результатами геофизического и геологического опробования. Сопоставления производятся по массе, средним содержаниям, количеству полезного компонента. До отбора технологических проб на полупромышленные испытания выявляются и устраняются все статистически значимые систематические погрешности.

4.14. Результаты экспресс-опробования руды в емкостях составляют массив данных распределения порций по содержаниям полезного компонента, позволяющий рассчитать таблицы фракционного состава, построить зависимости интегральных распределений накопленных выходов отвального продукта от граничных содержаний сортировки. Технологические показатели [6] процесса сортировки ГРМ на РКС рассчитываются в соответствии с общепринятой схемой радиометрического обогащения. Технологические продукты подлежат контрольному валовому опробованию согласно требованиям [7].

4.15. Сортировка на РКС является завершающим этапом горной технологии, в результате которой поток добытой ГРМ разделяется на сорта руды и отвальную породу. Потери с отвальным продуктом по своей природе относятся к потерям при добыче.

5. ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ ПО СЕПАРАЦИИ РУДЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ

5.1. Возможности радиометрического обогащения руды методом покусковой сепарации, предлагаемые прогнозом, должны быть проверены экспериментально и реализованы непосредственно на месторождении при использовании радиометрических сепараторов модульного полевого исполнения или передвижных рудосепарационных комплексов. Состав специального оборудования, необходимый для опытной сепарации включает:

- установку грохочения проб для разделения руды на сепарируемые классы и отсеив,
- конвейеры для подачи кусков сепарируемого класса в питающий бункер сепаратора и отвода продуктов сепарации,
- сепараторы на разные классы крупности,
- оборудование для опробования продуктов сепарации.

5.2. Экспериментальные работы с получением технологических показателей опытной сепарации в зависимости от вида сырья и поставленных задач проводятся как на представительных пробах по технологическим типам руд, так и на продуктах крупнопорционной сортировки РКС, требующих предварительного РО, а именно бедных и забалансовых рудах. Масса проб и продуктов должна быть представительной в зависимости от неравномерности руды для каждого класса крупности [8].

5.3. Отправным критерием экономической целесообразности применения радиометрической сепарации является достаточная доля выхода сепарируемых классов от массы исходной руды, составляющая не менее 30-40%. С целью определения выхода сепарируемых (машинных) классов для всех технологических типов руд методом ситового анализа определяется гранулометрический состав руд. Для этого отбираются представительные пробы массой не менее 30 тонн из штабелей руды, отбитой в процессе экспериментальных работ. Ситовой анализ производится на грохотах с набором сит: -250, -100, -50, -25, -10, -5 мм. Класс крупности +250 мм взвешивается, додрабливается и подвергается грохочению. При наличии обволакивающего шлама производится промывка с оборудованием шламоотстойника. Каждый выделенный класс крупности взвешивается. От одного или двух сепарируемых классов отбирается выборка по 50-100 кусков для определения показателей радиометрической обогатимости в соответствии с методикой [8]. Содержание в классах определяется по данным опробования продуктов сепарации. Результаты изучения гранулометрического состава представляются в виде таблиц с характеристикой каждого класса по выходу, содержанию и извлечению полезных компонентов.

5.4. Радиометрической сепарации подвергаются машинные классы крупности: -250+100, 100+50, -50+25 мм. Обогащение ценного неметаллического сырья на зарубежных сепараторах начинается с классов крупности -25+10 или 10+5 мм.

5.5. Настройка сепараторов предусматривает операции по градуировке измерительных устройств на кусковых выборках (как правило, класса крупности -50+25 мм) с последующим контролем на моделях руд. Определяется зависимость параметров признака разделения сепаратора от содержания полезного компонента в кусках установленного путем анализа порошковой пробы каждого куска на основные компоненты. Куски по одному пропускаются через камеру сепаратора, где измеряются в динамическом режиме с набором статистики за реальный для сепарации промежуток времени порядка 0,03÷0,1 с. На рис. 1 приведен пример такой градуировки сепаратора СРФ2-100 на высококонтрастной марганцевой руде Кайгадатского рудопроявления.

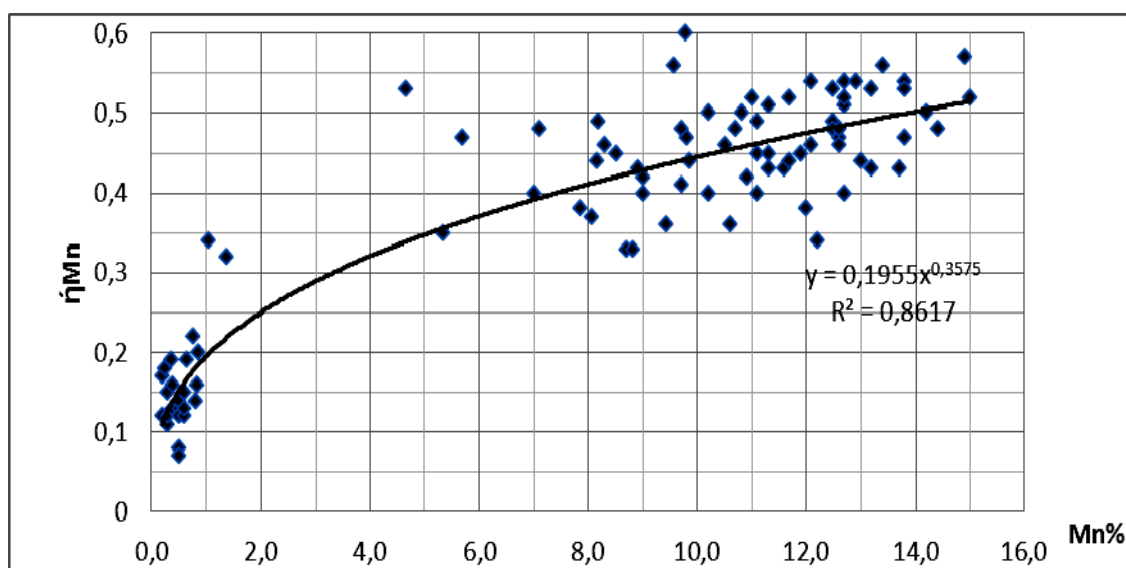


Рис. 1. Корреляционная связь измеряемого параметра η и C_{Mn} (%) на сепараторе СРФ2-100

Граница разделения расположена в диапазоне значений от 0,3 до 0,4 параметра η . Технологическая граница сепарации и кривые обогатимости (зависимости технологических показателей РС от границы разделения) определяются в результате анализа фракционного состава по параметру признака разделения выборки. Значения границы разделения λ_r , выхода хвостов $\gamma_{хв}$, их качество θ и потери металла $\epsilon_{хв}$ рекомендуется определять для точки пересечения кривой показателя обеднения хвостов τ и кривой извлечения в хвосты $\epsilon_{хв}$, то есть для условия численного равенства $\tau = \epsilon_{хв}$ (рис. 2). Показатель τ имеет смысловое значение кратности обеднения хвостов по сравнению со средним содержанием в пробе α (аналогично показателю обогащения) и рассчитывается как:

$$\tau = \frac{\alpha}{\theta} = \frac{\gamma_{хв}}{\epsilon_{хв}}$$

Параметр $\epsilon_{хв}$ (потери с хвостами) может расцениваться как обобщающий экономический показатель. При выборе границы сепарации следует учитывать кондиции ТЭО по минимальному промышленному содержанию в руде.

Окончательный выбор границы сепарации производится с учетом выхода и качества хвостов, потерь с ними металла на основе повариантного экономического расчета для обогатительного передела в целом.

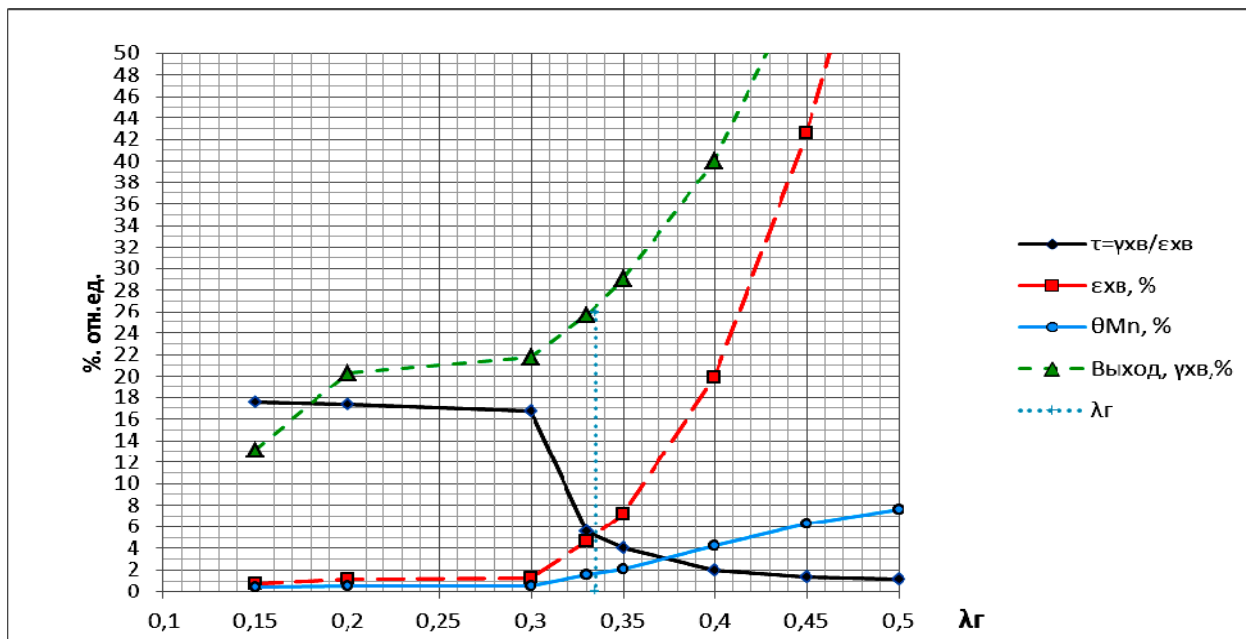


Рис. 2. Кривые обогатимости марганцевой руды на сепараторе СРФ2-100

5.6. Для экспериментальной заверки границ и прогнозных показателей опытной сепарации используется методика фракционной разгонки пилотных проб надежной массы сепарируемых классов. Сепарацию проводят с пятью-семью границами разделения последовательно, начиная сверху. При этом получают продукты с последовательно уменьшающимися содержаниями. Все продукты взвешиваются, опробуются и складываются отдельно. Строятся кривые обогатимости, по которым определяются оптимальные границы сепарации. По результатам анализа продуктов может быть произведено их объединение с выделением промпродуктов.

5.7. Сепарации подвергаются все машинные классы проб. Для классов, по которым ввиду каких-либо причин не удастся провести сепарацию, принимаются прогнозные показатели, интерполированные с учетом экспериментальных данных смежных классов.

5.8. Продукты сепарации, отсев и высушенные шламы промывки опробуются в соответствии с требованиями [7] и складываются отдельно.

5.9. Результаты сепарации пробы руды с отсевом представляются в виде таблиц технологических показателей. Удовлетворительным считается выделение не менее 20% хвостов от исходной пробы с потерями полезного компонента, сопоставимыми с таковыми при глубоком обогащении, но не выше 10%. Качество концентрата должно отвечать рациональной схеме глубокого обогащения руд с учетом состава, промышленной ценности и возможности комплексного использования сырья.

6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ОПЫТНЫХ УСТАНОВКАХ ИЛИ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ФАБРИКАХ

6.1. Отбор технологических проб для полупромышленных испытаний РС ведется в строгом соответствии с ТУ проекта [3]. Представительность, количество проб, их объем обосновываются на предпроектной стадии и контролируются на всех этапах отбора. Фактические средние параметры не должны отличаться от заданных в ТУ при относительно равномерном оруденении более чем на 10% , а при неравномерном на 20%. Для весьма неравномерных руд может быть обоснован допуск отклонений от средних содержаний до 30%. Изменения заданных параметров в ходе работ допускается только после согласования со всеми разработчиками ТУ.

6.2. Отбор крупнотоннажных массой более 100 т технологических проб должен, по возможности, совмещаться с полупромышленными испытаниями крупнопорционной сортировки. Желательно при этом использовать весь отбиваемый объем руды, что обеспечит корректное сквозное сопоставление геофизического и геологического опробования выработок, экспресс-опробования порций на РКС и результатов сепарации с фабричным валовым опробованием технологических проб. Каждый продукт сортировки и опытной сепарации, а также отсев грохочения должны складироваться и транспортироваться отдельно. Смешивание продуктов и тем более подшихтовка для выполнения требований ТУ не допускаются.

6.3. Испытания проводятся по отдельному проекту на специализированных установках, укомплектованных промышленным оборудованием, включающих систему рудоподготовки (дробление, грохочение), аппаратов сепарации, подачи руды, ее отвода и опробования продуктов обогащения.

6.4. Полупромышленные испытания проводятся по технологической схеме и методике, рекомендованной в результате лабораторных исследований. Испытания предусматривают:

- анализ технико-экономических показателей объекта (предприятия) результатов лабораторных испытаний по методике и технологии обогащения, уточнение технологической схемы обогащения и требований к технологическим показателям и качеству продукции,
- контроль представительности технологической пробы и ее доставку к месту испытаний,
- компоновку, наладку, настройку технологической линии и оборудования, градуировку аппаратуры, проверку стабильности ее работы,
- проверку соответствия технологической линии и оборудования требованиям техники безопасности, радиационной гигиены и противопожарной техники, соответствующий инструктаж и подготовку обслуживающего персонала,

- разделение исходной пробы на две части, одна из которых используется для радиометрической сепарации, а другая поступает на переработку традиционными методами обогащения,

- грохочение исходной пробы на классы крупности с определением их массы; выделение несепарируемого класса, его опробование, взвешивание и складирование для дальнейших исследований; взвешивание материала питания и продуктов сепарации на конвейерных весах,

- организацию опробования технологических продуктов с помощью автоматического пробоотборника,

- организацию аналитической службы с обеспечением достоверного экспресс-анализа основных компонентов,

- оценку технологических свойств руды на кусковых выборках,

- проведение пилотных испытаний порций расклассифицированной руды массой 10 – 20 т с отработкой режимов работы сепараторов, а также питающего и промывочного оборудования (основные параметры сепарации, подлежащие регулировке: производительность и граничное значение признака разделения, определяющие выход хвостов. В качестве основного значения первого параметра принимаются показатели, рекомендованные специалистами компании производителя сепараторов. При выборе начального значения порога разделения руководствуются данными лабораторных исследований, далее проводятся испытания с изменением указанных показателей в большую и меньшую стороны. По каждому исследуемому параметру проводятся 4-5 пилотных испытаний. В процессе проведения работ по каждому исследуемому параметру производится технико-экономический расчет показателей. Экономическая эффективность принимается в качестве основного критерия при выборе оптимальных режимов сепарации),

- проведение балансовых испытаний проб расклассифицированной руды массой до 2-5 тыс. т по выбранным в результате пилотных испытаний оптимальным режимам сепарации; определение итоговых технологических показателей,

- составление акта о проведении полупромышленных испытаний.

6.5. Продукты радиометрической сепарации за исключением отвальных хвостов смешиваются с несепарируемым классом (отсевом) технологической пробы и направляются на глубокое обогащение.

7. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ

7.1. Предварительная обработка результатов технологических экспериментов сводится к составлению таблиц технологических показателей радиометрического обогащения для вариантов при разных границах разделения. Рассчитываются предварительные технологические балансы по массе, количеству полезных компонентов. Выявляются и исключаются систематические расхождения. Допустимые случайные расхождения не должны превышать 10%, а систематические – 5%.

7.2. Паспорта на отправляемые продукты помимо типовых сведений должны содержать подробные характеристики продуктов с указанием технологических режимов их получения и данных контроля по основным параметрам.

7.3. Результаты полупромышленных испытаний излагаются в специальном отчете согласно требованиям [9]. Для каждого обогащительного процесса составляются таблицы технологических показателей и состава товарных продуктов.

7.4. Выбор оптимальной технологической схемы производится после повариантной оценки экономических и технологических показателей добычи и обогащения совместно. В соответствии с методикой [10] определяется годовой экономический эффект и рентабельность путем сопоставления приведенных затрат по базовой и оцениваемой технологиям. В качестве базовой берется технология без радиометрического обогащения. При этом необходимо учитывать специфические особенности РО, влияющие на затратные и стоимостные показатели, такие как:

- безвозвратность потерь полезного компонента с отвальным продуктом РКС, поскольку он чаще всего складывается в общий породный отвал,
- возможность из некондиционных руд получить товарные руды, что способствует вовлечению в переработку бедных и забалансовых руд,
- возможность селективного извлечения особо ценных и вредных компонентов,
- возможность из некоторых руд получать непосредственно товарные концентраты, минуя стадии традиционного обогащения.

7.5. Оптимальная технологическая схема выбирается, исходя из максимальной экономической эффективности и практической реализуемости на проектный период по максимуму прибыли и рентабельности, а также срока окупаемости капложений и приведенных затрат. Обосновывается повариантными сопоставлениями и представляется в виде качественно-количественной схемы с итоговыми показателями обогащения и схемы цепи аппаратов.

7.6. Полученные исходные данные составляют основу технологического регламента для проектирования промышленного предприятия.

8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ

Аппаратура и оборудование, применяемое при изучении обогатимости руд радиометрическими методами, относятся к классу электромеханических устройств, включающих радионуклидные источники или рентгеновские трубки.

При эксплуатации радиометрических установок вне зависимости от реализуемого метода должны выполняться: «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила устройства

электроустановок», утвержденные Госэнергонадзором.

При использовании в установках источников ионизирующего излучения должны соблюдаться требования, установленные: нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009, Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСПОРБ-99/2010 (в редакции от 16.09.2013) и СП 2.6.1.2800-10. К работе с установками для изучения радиометрической обогатимости руд допускаются лица, прошедшие инструктаж и показавшие знания правил техники безопасности. Периодичность инструктажа должна соблюдаться не реже 2-х раз в год.

Загрузка и выгрузка источников ионизирующих излучений должна производиться двумя исполнителями с использованием специализированных дистанционных манипуляторов.

Персонал, работающий на радиометрических установках, должен иметь средства индивидуального дозиметрического контроля.

Неиспользуемые в установках источники ионизирующих излучений должны храниться в специальных хранилищах.

Работы на установках, оснащенных источниками ионизирующих излучений, разрешается проводить в помещениях, на которые в санитарно-эпидемиологических службах оформлен санитарный паспорт. Специальных требований к помещениям для размещения радиометрических установок не предусматривается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Требования к изучению радиометрической обогатимости минерального сырья при разведке месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых. ГКЗ РФ, 1993. 26 с.
2. Технологическое опробование месторождений цветных металлов в процессе разведки. Временное методическое руководство. МГ, МЦМ СССР, 1986. 38 с.
3. СТО РосГео 09-001-98 Твердые полезные ископаемые и горные породы. Технологическое опробование в процессе геологоразведочных работ. Общие требования, М.: РосГео. 1998, 20 с.
4. Отбор технологических проб при геологоразведочных работах на твердые полезные ископаемые. Методические рекомендации № 102 НСОМТИ ВИМС, 2015. 28 с.
5. Якубович А.Л., Рябкин В.К. Ядерно-физические методы анализа и контроля качества минерального сырья. М.: ВИМС, 2007. 206 с.
6. Пухальский Л.Ч. Рудничная геофизика. М. Энергоатомиздат. 1983. 120 с.
7. ГОСТ 14180 -80. Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги. Издательство стандартов. М.: 1990. 28 с.
8. Оценка обогатимости руд черных и легирующих металлов методами крупнокусковой сепарации. Методические рекомендации № 103 НСОМТИ ВИМС, 2015. 30 с.
9. Типовая программа и методические рекомендации по проведению полупромышленных технологических испытаний схем переработки руд разведываемых месторождений. Методические рекомендации № 13 НСОМТИ ВИМС, 1981. 39 с.
10. Экономическая оценка технологических схем обогащения руд цветных металлов. Методические рекомендации № 21 НСОМТИ ВИМС, 1982. 35 с.
11. Ревнивцев В.И., Азбель Е.И., Баранов Е.Г. и др. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке. М.: Недра. 1987. 308 с.

Принципиальные возможности применения радиометрических методов для крупнопорционной сортировки [11]

Элемент	Минимально-промышленное содержание, %	Метод	Детектор	Глубинность, см	Нижняя граница сортировки *, %	Примечания
1	2	3	4	5	6	7
Li	0,2-0,3	ННМ НРМ	Гелиевый, Li-стекло	20-50 10-20	0,1-0,2 0,1-0,2	Невозможна при сод. В>0,5%
Be	0,1-0,5	ФНМ	Гелиевый	5-10	0,01	
B	2-4	НРМ	Гелиевый, Li-стекло	10-20	0,1	
F	10-20	СНАМ	NaJ	5-10	0,5	
Al	15	СНАМ	NaJ	3-7	0,5	Мешает Si
Si		СНАМ	NaJ	3-7	1-3	Требуется учет Al
P	5-10	СНАМ	NaJ	3-7	1-3	
S	3-5	СНГМ	NaJ	10-20	2-5	
K	3-8	ГМ	NaJ	20-30	0,5	Требуется учет Na
Ca		СНГМ	NaJ	10-20	2-5	
Ti	2-5	СНГМ РРМ	NaJ Проп. счетчик	10-20 0,05	1-3 0,5-1	Требуется определение магнетита
Cr	20-30	СНГМ	NaJ	10-20	3-5	Требуется опр. Fe
Mn	20-30	СНГМ РРМ	NaJ Проп. счетчик	10-20 0,05	3-5 0,5-1	Требуется опр. Fe
Fe	20-30	СНГМ ММВ РРМ	NaJ Проп. счетчик	10-20 20-30 0,05	0,5-1 0,5-1 0,5-1	
Co	0,1-0,2	СНГМ НРМ РРМ РРМ	NaJ, ППД Гелиевый Проп. счетчик. Si-ППД	20-30 10-20 0,1 0,1	0,2 0,05 0,2 0,05	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Ni	0,2-0,3	ГТМ СНГМ РРМ РРМ	NaJ NaJ, ППД Проп. счетчик Si-ППД	2-5 20-30 0,1 0,1	1 0,2-0,05 0,2 0,05	
Cu	0,3-0,5	СНГМ РРМ РРМ	NaJ, ППД, Проп. счетчик Si-ППД	20-30 0,1 0,1	0,2-0,05 0,2 0,05	
Zn, Pb	0,2	ГТМ НРМ РРМ РРМ	NaJ Гелиевый Проп. счетчик Si-ППД	2-5 10-20 0,1 0,1	0,3 0,3 0,05Zn, 0,2Pb	Мешает Ва
As	0,1	НРМ РРМ РРМ	Li-стекло Проп. счетчик	10-20 0,н	0,1 0,1	
Rb	0,1	РРМ	Проп. счетчик	0,н	0,05	
Sr	n	ГТМ НРМ РРМ	NaJ Li-стекло Проп. счетчик	2-5 10-20 0,н	1-5 0,5-1 0,05	
TRy	0,1	РРМ ННМ НРМ	Проп. счетчик Гелиевый Гелиевый	0,н 20-50 10-20	0,1 0,05 0,05	
TR	0,н	РРМ ННМ НРМ	Проп. счетчик Гелиевый Гелиевый	0,н 20-50 10-20	0,1 0,05 0,02	
Zr	1-5	РРМ ГТМ НРМ	Проп. счетчик NaJ Гелиевый	0,н 2-5 10-20	0,1 n,0 0,5	
Nb	0,1	РРМ	Проп. счетчик	0,н	0,1	
Mo	0,1	РРМ	Проп. счетчик	0,н	0,05	

1	2	3	4	5	6	7
Ag	0,005 (50г/т)	РРМ	Проп. счетчик ППД	0,n	0,05	Мешает Cd
Sn	0,1	НРМ	Гелиевый	0,n	0,05	
Sb	0,5	РРМ	Проп. счетчик ППД	0,n	0,1	
Cs	0,1	ГГМ НРМ	NaJ	2-5	1-2	
Ba	0,1	НРМ	Гелиевый	10-20	0,05	
Ta	0,01	РРМ	Проп. счетчик	0,n	0,1	
W	0,1	НРМ	NaJ	2-5	1,0	
Au**	(0,5 г/т)	РРМ	Проп. счетчик	0,n	0,01	
Hg	0,05	РРМ	Проп. счетчик Ge-ППД	1-2	0,2-0,3	
U**	0,01-0,02	СНГМ	Гелиевый	10-20	0,05	
		РРМ	Проп. счетчик	0,n	0,05	По корреляции с сульфидами
		ГМ	NaJ	20-30	0,1	
		ГМ	Ge-ППД	1-2	0,05	
		ГМ	NaJ	20-50	0,2	
		ГМ	Si- ППД	20-50	0,1	
		ГМ	NaJ	20-50	0,005	

Примечание: РРМ – гаммарadiометрический метод, ГГМ – гамма-гамма-метод, ФНМ – фотонейтронный метод, ФНМ – фотонейтронный метод, ННМ – нейтронно-нейтронный метод, НРМ – нейтронно-резонансный метод, СНАМ – спектрометрический нейтронно-активационный метод, СНГМ – спектрометрический нейтронный гамма-метод, РРМ – рентгенорадиометрический метод, ММВ – метод магнитной восприимчивости; ППД – полупроводниковые детекторы, Проп. сч. – пропорциональные счетчики.

* По большинству элементов (кроме Sn, W, Ba, U) даны прогнозные значения границ сортировки.

** Данные добавлены авторами.

Возможности применения радиометрической сепарации

Полезный компонент	Промышленное содержание компонента, %		Метод	Детектор	Признак разделения	Глубинность	Нижняя граница сепарации, %
	Среднее	Минимальное					
1	2	3	4	5	6	7	8
Алмазы	0,5-2г/г	0,1-0,2	РЛМ	ФЭУ	i	МКМ	0,1 г/г
Кварц	20-50	10-20	ФММ	ФЭУ	i, n	МКМ	5
Апатит			РЛМ	ФЭУ	i, n	МКМ	5
Ве	0,02-0,5	0,02	ФНМ	Т-2, СИМ-17	i	0,2 м	0,1
Драг. камни	0,02-0,2	0,02	РЛМ, ФММ	ФЭУ	i	МКМ	
Флюорит	30-50	10-20	РЛМ, СНАМ	ФЭУ, NaJ	i, n	МКМ, см	5
Микроклин	30-50	10-20	РЛМ, ФММ	ФЭУ	i, n	МКМ	10
Плагиоклазы	30-5	10-20	РЛМ, ФММ	ФЭУ	i, n	МКМ	10
Бокситы	20-30	10-20	ФММ, ИРМ	ФЭУ	i, n	МКМ, см	10
В	2-4	0,5	НАБМ, РЛМ	ФЭУ	i, n	см, МКМ	0,5
Cr, Fe, Mn	30-60	20-30	МММ, ГАМ, СНГМ		n	см	10
Co, Ni	0,5-2	0,1-0,2	МММ, ИРМ, ЕРМ		n	см	0,5
Cu, Zn, Pb	0,5-1	0,2-0,3	ИРМ, РРМ	ПС, ППД	n	мм	0,2
Zr, Y, Nb	0,2-0,5	0,05-0,1	РРМ	ППД	n	мм	0,1
Mo	0,п	0,1	РРМ	ПС, ППД	n	мм	0,1
Ag, Pd	200-500 г/г	20-50 г/г	РРМ	ППД	n	мм	0,1

1	2	3	4	5	6	7	8
Sn	0,3-0,8	0,1	РРМ	ПС, ПШД	n	мм	0,1
Sb	2-5	0,5	РРМ	ПС, NaJ	n	мм	0,1
Ba	5-40	-	ГАМ, РРМ	NaJ	n	мм	0,1
TR	n	0,n	РРМ	ПШД, ПС	n	мм	0,1
W, Hg	0,2-0,5	0,1	РРМ	ПШД, ПС	n	мм	0,1
U, Th	0,1-0,8	0,03	ГМ	NaJ	i	0,2м	0,02

Примечание. Методы: РЛМ – рентгенолюминесцентный, ФММ – фотометрический, ФНМ – фотонейтронный, СНАМ – спектрометрический нейтронно-активационный, ЛЛМ – лазерно-люминесцентный, МММ – магнитометрический, ГАМ – гамма-абсорбционный, СНГМ – спектрометрический нейтронный-гамма, ИРМ – индукционный радиорезонансный, ЕРМ – емкостной радиорезонансный, РРМ – рентгенорадиометрический, ГРМ – гаммарадиометрический.
Обозначения: i – интенсивность, n – расчетный параметр.

Подписано в печать 28.06.2018 г.
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1,5
Тираж 20 экз. Заказ № 7.

Редакционно-издательский сектор (РИС) ВИМС.
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31. Тел. (495) 9503570
Отпечатано на ризографе в РИС ВИМС.