

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 № 104

**ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ
РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД РАДИОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Москва, 2016 г.

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

ИСПОЛНИТЕЛИ: Литвинцев Э.Г., Рябкин В.К., Цымбалист С.И.

РАССМОТРЕНЫ И ПРЕДСТАВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ: Научным советом по методам технологических исследований (НСОМТИ), протокол № 2 от 09 ноября 2016 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.
ВВЕДЕНИЕ	5
1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	5
2. МЕТОДЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД	6
3. ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД РАДИОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	7
3.1. Требования к технологической пробе	7
3.2. Определение гранулометрического состава технологической пробы	8
3.3 Отбор представительных выборок для изучения технологических свойств руды	11
3.4. Изучение неравномерности (контрастности) руды по содержанию основных компонентов	12
3.5. Выбор метода сепарации и признака разделения	14
3.6. Определение границ разделения процесса радиометрической сепарации	16
3.7. Комплексование признаков разделения	18
4. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕПАРАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОБОГАТИМОСТИ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД	19
5. ПИЛОТНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УТОЧНЕНИЮ ГРАНИЦ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИ СЕПАРАЦИИ	21
6. ОПЫТНАЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ ПРОБЫ	21
7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ	23
ЛИТЕРАТУРА	24
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Возможности применения комплекса методов радиометрической сепарации для предварительного крупнокускового обогащения редкометалльных руд основных геолого-промышленных типов месторождений	25
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Технические характеристики отечественных и зарубежных сепараторов	31
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Схема разделки технологической пробы и продуктов сепарации	32
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Фракционный состав выборки кусков класса крупности -50+30 мм руды Катугинского месторождения по сумме относительных содержаний Ta_2O_5, Nb_2O_5, ZrO_2 и предельные показатели разделения (интегрального распределения)	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Руководство по программе расчета фракционного состава и технологических показателей "Kontrast"...	34

Принятые сокращения и обозначения:

- ГРР** – геологоразведочные работы;
РО – радиометрическое обогащение;
ГРМ – гаммарadiометрический метод;
РЛМ – рентгенолюминесцентный метод;
РРМ – рентгенорадиометрический метод;
ИРМ – индукционный радиорезонансный метод;
ФММ – фотометрический метод;
ФНМ – фотонейтронный метод;
ГРС – гаммарadiометрическая сепарация;
ГАС – гаммаабсорбционная сепарация;
РАС – рентгеноабсорбционная сепарация;
РЛС – рентгенолюминесцентная сепарация;
РРС – рентгенорадиометрическая сепарация;
СМС – сухая магнитная сепарация;
ФМС – фотометрическая сепарация;
М – показатель неравномерности (контрастности по В.А. Мокроусову);
 α – среднее содержание компонента в выборке (пробе), %;
 $\gamma_{\text{хв}}$, $\gamma_{\text{к}}$ – выход хвостового и концентратного продуктов, %;
 $\epsilon_{\text{хв}}$, $\epsilon_{\text{к}}$ – извлечение полезного компонента в хвостовой (потери) и концентратный продукты, %;
 θ – содержание компонента в хвостовом продукте, %;
 β – содержание компонента в обогащенном продукте, %;
 λ – граница разделения, верхний предел фракционирования;
 τ – показатель кратности обеднения хвостов относительно среднего содержания;
П – показатель признака разделения;
Р – показатель раскрытия минерала полезного компонента;
r – коэффициент корреляции.

ВВЕДЕНИЕ

Среди промышленных месторождений твердых полезных ископаемых выделяется группа редкометалльных месторождений, отличающаяся целым рядом специфических особенностей [1]. Для редкометалльных руд вследствие разнообразия геологической обстановки образования месторождений, широкого диапазона физико-химических условий, длительности процессов рудообразования и их многоэтапности характерна высокая изменчивость вещественного состава. Особенностью руд основных редких металлов, таких как Ta, Nb, TR, Be, Li и др., является наличие многочисленных минеральных фаз. Характерна высокая комплексность собственно редкометалльных месторождений и месторождений, где попутные редкие металлы играют существенную роль в экономической значимости конечного продукта. Совокупность этих факторов определяет сложность переработки руд и необходимость использования на начальной стадии обогащения комплекса методов радиометрического обогащения с разработкой методик их комплексирования.

Существенно ограничивает возможности применения методов радиометрического обогащения низкий и чрезвычайно низкий уровень содержания таких редких элементов как Y, Sc, I, Cs, Hf и др. Отказ от применения нейтронных методов определения Be и Li серьезно ограничивает применение РО. Экономическая эффективность радиометрической сепарации существенно снижается с уменьшением класса крупности ниже 20 мм, ограничивая возможность ее применения на экзогенных месторождениях.

Указанные выше особенности и ограничения отражены в сводной таблице по применимости радиометрических методов для предварительного обогащения редкометалльных руд основных геолого-промышленных типов месторождений и комплексных руд, в которых редкие металлы играют существенную роль в качестве попутных компонентов (Приложение А).

Данные рекомендации следует принимать к сведению при обосновании проектов работ по оценке обогатимости комплексных редкометалльных руд радиометрическими методами в соответствии с положениями СТО РосГео 09-0098 «Радиометрические методы обогащения» [2] и требованиями ГКЗ [3].

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящими методическими рекомендациями сопровождаются исследования по технологической оценке обогатимости комплексных редкометалльных руд методами радиометрической сепарации на технологических пробах в лабораторных условиях.

Областью применения методических рекомендаций являются технологические испытания радиометрического обогащения комплексных редкометалльных руд на разных стадиях геологоразведочных работ, табл. 1.

Назначение и виды технологических проб для стадий ГРР

Стадия ГРР, категория ресурсов и запасов	Цель технологических испытаний	Вид проб	Минимальная* масса пробы
Поисковые и оценочные работы; Р ₁ , С ₂ , С ₁	Технологическое изучение для выделения промышленных (технологических) типов руд	Лабораторные	0,1-1 т
	Разработка рациональных схем и исходных данных к технологическому регламенту	Укрупненно-лабораторные	1,5-5 т
Разведка месторождения (проектный период), С ₁ , В, А	Разработка оптимальных схем по извлечению основных и попутных компонентов	Типовые и сортовые лабораторные	0,1-1 т
	Исходные данные к технологическому регламенту для проектирования	Укрупненно-лабораторные	1,5-5 т
		Полупромышленные	20-3000 т

*Определяется требованием к надежной массе пробы в зависимости от неравномерности руды по содержанию

Процесс крупнокускового обогащения включает в себя рудоподготовку для выделения машинных классов крупности, подлежащих сепарации, а также мелких классов, составляющих небогащаемый продукт РО, так называемый отсев. На конечном этапе процесса отсев, который может быть в той или иной мере обогащен полезными компонентами, присоединяется к концентратам или к промежуточным продуктам сепарации.

Предварительное обогащение с использованием радиометрической сепарации в первую очередь решает задачу выделения отвальных крупнокусковых хвостов. В ряде случаев, как, например, на рудах танталовых пегматитов [4], была показана также возможность получения кондиционных крупнокусковых концентратов (сподуменового и микроклинового).

2. МЕТОДЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД

Одним из промышленных методов обогащения является радиометрическая сепарация – процесс крупнокускового разделения горнорудной массы на продукты, отличающиеся по содержанию полезных компонентов или вредных примесей, использующий измеряемые параметры взаимодействия различных видов излучения с веществом руды. Радиометрическая сепарация относится к сухим процессам, отличается от традиционных методов обогащения экологической чистотой и низкой себестоимостью при относительно малых капитальных затратах.

В последние годы разработан обширный арсенал методов крупнокусковой сепарации (табл. 2), которые используют многообразие специфических свойств руд, обладают достаточно высокой чувствительностью и селективностью разделения в широком диапазоне крупности кускового материала от 5 до 350 мм. Технические средства крупнокусковой сепарации, реализующие к настоящему времени указанные методы, представлены в Приложении Б.

Таблица 2

Методы радиометрической сепарации комплексных редкометалльных руд

Элемент	Методы (глубинность исследования)	Предел обнаружения*, %
Be	ФНМ (20 см), ФММ (мкм)	0,1 (ФНМ)
Li	РЛМ (мкм), ФММ (мкм)	не определяется
Ti, V	РРМ (мкм), ФММ (мкм), ИРМ (50 мм)	1,0 (РРМ)
Zr, Y, Nb	РРМ (мм), ФММ (мкм)	0,05 (РРМ)
Sn, TR	РРМ (мм), ГРМ (20 см)	0,03 (РРМ)
U, Th, Ta	ГРМ (20 см)	0,004 (ГРМ)

* Метрологическая оценка на гомогенных моделях при доверительной вероятности 95%

За рубежом интенсивно разрабатываются фотометрические, рентгеноабсорбционные и электромагнитные (радиорезонансные) сепараторы. В СССР разрабатывалась относительно широкая номенклатура сепараторов, из которых в настоящее время в России выпускаются только рентгенорадиометрические и рентгенолюминесцентные сепараторы.

3. ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД РАДИОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Оценка обогатимости руд методами радиометрической сепарации начинается с изучения их геолого-минералогических особенностей, вещественного и гранулометрического составов, неравномерности кусков по содержанию основных и попутных компонентов и их корреляционных связей. При этом устанавливается принципиальная возможность применения методов покусковой сепарации, оценивается эффективность выбранного признака разделения и предельные показатели разделения по содержанию ценных компонентов.

На последующей экспериментальной стадии выбираются типы сепараторов и режимы сепарации, определяются технологические показатели, разрабатывается принципиальная технологическая схема покускового обогащения, и составляются продукты для дальнейшей переработки.

3.1. Требования к технологической пробе

Объектом технологических испытаний является технологическая проба руды, отобранная согласно Методическим рекомендациям № 102 «Отбор технологических проб при геологоразведочных работах на рудные полезные ископаемые» [5], отвечающая требованиям к надежности по массе в

соответствии с крупностью кускового материала и неравномерностью распределения основного полезного компонента. Масса отбираемой пробы определяется с учетом массы получаемых продуктов РО, требуемых для последующей переработки методами глубокого обогащения. Необходимым условием получения достоверного технологического результата является соответствие пробы техническим условиям (ТУ) отбора с подтверждающими ее представительность документами – Актом отбора пробы и Паспортом пробы. Указанные документы и масса пробы, достаточная для проведения испытаний, согласовываются при заключении договора на проведение технологических испытаний и служат основанием для разработки программы исследований.

Исследуемый материал должен представлять руду изучаемого технологического типа после отбойки и сортировки на рудоконтролирующей станции (РКС). В случаях, когда сортировка на РКС не предусматривается, отбирается руда, по качеству отвечающая планируемыми эксплуатационными запасам с заданным разубоживанием и засорением.

Лабораторная технологическая проба из-за ограниченного объема не может быть представительной для отбитой руды по гранулометрическому составу, а также вследствие несоответствия способа отбора паспорту буровзрывных работ при добыче. В связи с этим в процессе крупнокускового радиометрического обогащения полученная проба (табл. 5) преобразуется в так называемую *исходную* пробу, откорректированную по соотношению классов гранулометрического состава (см. раздел 3.2).

Определение вещественного состава исходной пробы проводится на материале дубликата технологической пробы, предназначенного для проведения работ по глубокому обогащению без предварительного радиометрического обогащения (Приложение В). При недостаточном количестве материала представительная навеска формируется на заключительном этапе работ из продуктов радиометрической сепарации с учетом их выходов. Навеска массой не менее 1 кг компонуется из материала крупностью -1 мм, который получается в процессе разделки продуктов сепарации.

3.2. Определение гранулометрического состава технологической пробы

Перед проведением лабораторных и укрупненно-лабораторных испытаний кускового материала устанавливается верхний предел крупности, отвечающий требованиям надежности массы пробы при данной степени неоднородности распределения рудного компонента в соответствии с формулой Чечотта [6]:

$$d = \sqrt[2]{P/k},$$

где: P – масса пробы в кг;

k – коэффициент пропорциональности, равный 0,05 при равномерном, 0,1 – неравномерном, 0,2 – весьма неравномерном и 0,5 кг/мм² при крайне неравномерном оруденении;

d – диаметр куска в мм по верхнему пределу максимального класса крупности.

Например, массе лабораторной пробы 1 т при неравномерном оруденении отвечает верхний предел крупности 100 мм, для которого количество кусков, превышающих по размеру 100 мм, должно составлять не более 5%. Для керновых проб надежная масса рассчитывается исходя из диаметра керна, а не длины столбика, которая доводится до заданного размера. Кусковой материал пробы подвергается грохочению по верхнему пределу крупности, при этом плюсовой материал додрабливается и присоединяется к основному.

Проба перемешивается на специальной площадке по методике кольца и конуса не менее трех раз. Затем подвергается грохочению на классы крупности, принятые для выбранного метода РО, например, для РРС и ГРС -100+75, -75+50, -50+25, -25+0 мм, а для ФМС и РАС дополнительно -25+10, -10+5 и -5+0 мм. Самый мелкий класс (отсев) сепарировать экономически нецелесообразно. В большинстве случаев он обогащен полезными компонентами и присоединяется к концентратам сепарации. Все классы взвешиваются. Полученные результаты совместно с данными определения содержаний и расчета извлечений полезных компонентов по классам крупности заносятся в таблицу гранулометрического состава (табл. 3).

Таблица 3

Гранулометрический состав пробы руды Зашихинского месторождения после додрабливания до крупности -100 мм

Классы крупности, мм	Масса, кг	Выход, %		Содержание**, %			Извлечение (прогноз), %		
		фактический	прогнозируемый*	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂
-100+50	296	56,92	65,0	0,026	0,206	0,315	58,58	63,88	64,52
-50+25	191	36,73	15,0	0,033	0,238	0,345	17,16	17,04	16,32
-25+0	33	6,35	20,0	0,035	0,200	0,304	24,26	19,08	19,16
Исходная проба	520	100,0	100,0	0,028	0,210	0,317	100,0	100,0	100,0
Машинные классы	487	93,65	80,0	0,027	0,218	0,321	75,74	80,92	80,84

* данные прогнозируемого гранулометрического состава из табл. 4 и 5

** средние содержания, определенные по результатам анализов продуктов сепарации

Так как при отборе проб небольшой массы невозможно обеспечить представительное распределение кускового материала по классам крупности, фактический гранулометрический состав используется лишь при расчете технологических показателей опытной сепарации. В дальнейшем требования корректности оценки обогатимости вынуждают использовать прогнозируемый гранулометрический состав, взятый по данным ситового анализа отбитой руды месторождений-аналогов или принимаемый, ориентируясь на таблицы усредненного гранулометрического состава (табл. 4 и 5) [7]. В приведенном примере для случая открытой добычи он задан по крупности разгрузки дробилок крупного дробления -250 мм.

Таблица 4

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

*Обработка данных по жильным рудам [8]

Таблица 5

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

Кусковой материал машинных классов при естественной влажности и слабой запыленности пригоден к дальнейшим исследованиям. В случае обволакивания поверхностей кусков шламом, который содержит рудные компоненты, искажающие результаты измерения малоглубинными методами сепарации (РРС, РЛС, ФМС), куски подвергаются промывке. При наличии глинистых корок используются замачивание, промывка и обдирка в скруббер-буторах в качестве дополнительных операций рудоподготовки. Дополнительной сушки не требуется.

При укрупненных технологических испытаниях выполняются сравнительные испытания сепарации руды представительных по объему порций с промывкой и без промывки (кроме случаев относительно чистой руды или наличия глинистых корок) для надежной оценки влияния загрязнения кусков при сепарации. Подобный эксперимент достаточно проводить только на одном классе крупности. В зависимости от полученных результатов дальнейшие экспериментальные работы с получением

технологических показателей ведутся либо без промывки (сухой процесс), либо с промывкой (ограниченно мокрый процесс).

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

Технологические этапы и параметры рудоподготовки оформляются в виде схемы (Приложение В), которая должна помещаться в отчете.

3.3. Отбор представительных выборок для изучения технологических свойств руды

Изучение технологических свойств руды для сепарации методами радиометрического обогащения и выбор оптимального признака разделения производится на представительных выборках кусков от сепарируемых классов крупности. Для руд со слабоменяющимся раскрытием минералов полезного компонента возможно использование только одного класса крупности -50+25 мм как наиболее оптимального для исследований.

Выборка представляет собой совокупность кусков, связанную с генеральной совокупностью кусков выделенного для сепарации класса крупности статистическими зависимостями. Количество кусков определяется с ориентацией на экспериментальные данные относительных погрешностей среднего содержания \hat{S}_a , выхода хвостов \hat{S}_γ , содержания в хвостах \hat{S}_θ и потерь с хвостами \hat{S}_ε для выборок объемом по 50, 100 и 200 кусков на рудах с различным показателем неравномерности M (табл. 6). Из таблицы следует, что для крайне неравномерных руд $M > 1,5$ обеспечить приемлемую представительность выборки по среднему содержанию и по потерям металла в хвостах невозможно.

Таблица 6

Величина погрешности технологических параметров отвальных хвостов при различных объемах выборки (оценка по 20 случайным выборкам из 900 кусков)

Объем выборки, n кусков	Относительные среднеквадратические отклонения \hat{S} , %											
	Пласто-линзообразные руды с равномерным оруденением $M = 0,4$				Жильно-прожилково-вкрапленные руды с неравномерным оруденением $M = 0,9$				Редковкрапленные руды с крайне неравномерным оруденением $M = 1,5$			
	\hat{S}_a	\hat{S}_γ	\hat{S}_θ	\hat{S}_ε	\hat{S}_a	\hat{S}_γ	\hat{S}_θ	\hat{S}_ε	\hat{S}_a	\hat{S}_γ	\hat{S}_θ	\hat{S}_ε
50	5,3	15,6	10,7	8,2	20,2	12,2	17,8	7,0	42,6	6,3	15,3	33,6
100	4,1	9,4	7,6	5,2	14,8	8,8	15	3,7	36,7	3,0	9,6	33,2
200	—	—	—	—	—	—	—	—	29,3	2,2	6,7	28,2

Отбор выборки n кусков производится от предназначенной для сепарации массы из N кусков класса крупности -50+25 мм путем взятия каждого кратного N/n куска по счету при переключении из мешка в мешок. При отборе выборки от неперемешанных порций интервалов керна можно использовать №№ кусков, выданные программой генерации случайных чисел компьютера для заданной совокупности из общего количества кусков.

Случайный способ отбора кусков определяет представительность выборки. Каждый кусок моется, после просушки нумеруется и взвешивается. Выполняется визуальная геологическая документация с кратким обозначением вида породы и интенсивности рудной минерализации. Полезную информацию дает фотодокументация выборки на лотке при различаемой нумерации кусков. Подобная визуализация кусков в дальнейшем будет способствовать более правильной геологической интерпретации результатов измерений.

3.4. Изучение неравномерности (контрастности) руды по содержанию основных компонентов

Оценка неравномерности (контрастности) руды производится по результатам анализа кусков выборки на основные компоненты. Инструментом служит фракционный анализ по содержанию каждого из основных компонентов или по сумме компонентов. Предельные показатели разделения для заданных границ λ по содержанию компонента или суммы компонентов получаются расчетом интегральных распределений накопленных выходов хвостов $\gamma_{хв}$ и извлечений в хвосты (потерь) $\epsilon_{хв}$ (Приложение Г).

Исходя из целесообразности решаемых в процессе радиометрического обогащения задач, выделяются два основных вида обогащения кондиционной руды:

- предварительное обогащение руды с выделением отвальных хвостов и получением обогащенного продукта (концентрата РО);
- собственно обогащение с получением конечного концентрата, отвечающего требованиям ТУ, промпродукта и отвальных хвостов.

При предварительном обогащении руды основным фактором, определяющим показатели процесса, служит неравномерность содержаний полезного компонента в кусках. Для количественной оценки степени неравномерности В.А. Мокроусовым [9] было предложено использовать относительное средневзвешенное отклонение содержания полезного компонента в кусках выборки от среднего по выборке, которое получило название показателя контрастности M (далее в тексте этот показатель в соответствии с его смысловым значением определяется как показатель неравномерности). Показатель M для однокомпонентной руды рассчитывается по формуле:

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

где: n – число кусков в выборке;

α – среднее содержание ценного компонента в выборке, %;

c_i – содержание ценного компонента в отдельных кусках выборки, %;

q_i – доля массы i -го куска в выборке, доли ед.

Величина M может принимать значения от 0 до 2. Особенности показателя M , вытекающие из свойства среднего, позволяют выражать его

через технологические показатели при границе разделения по среднему содержанию λ_{cp} по следующим формулам:

$$M = 2\gamma_{xb}(1 - \theta/\alpha),$$

$$M = 2\gamma_k(\beta/\alpha - 1),$$

где: γ_{xb} и γ_k – выходы хвостов и концентрата, отн. ед.;

θ и β – содержание в хвостах и концентрате, %.

Для руд, содержащих несколько полезных компонентов, фракционирование кусков может производиться по относительному многокомпонентному содержанию C_{mi} в i -том куске:

$$C_{mi} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \frac{C_{ki}}{\alpha_k},$$

где: C_{ki} – содержание k -того компонента в i -том куске, %;

α_k – среднее содержание k -того компонента в пробе, %;

m – количество компонентов.

Соответственно показатель многокомпонентной контрастности M_m представляет собой средневзвешенное отклонение относительного многокомпонентного содержания в кусках руды от единицы [10]:

$$M_m = \sum_{i=1}^n |(C_{mi} - 1) \cdot q_i|$$

Связь между показателем многокомпонентной контрастности и предельными показателями сепарации определяется выражениями:

$$M = 2\gamma_{xb}(1 - \theta_m)$$

$$M = 2\gamma_k(\beta_m - 1)$$

где: θ_m и β_m – относительные многокомпонентные содержания в хвостах и концентрате.

Все это дает возможность оценивать обогатимость руд за счет удаления хвостов в зависимости от неравномерности и предложить классификацию руды по показателю контрастности M (табл. 7).

Таблица 7

Классификация руд по показателям неравномерности M и раскрытия P

Предварительное обогащение		Обогащение с получением конечного концентрата	
Категория руд по неравномерности (контрастности)	Показатель M	Категория руд по раскрытию	Показатель P
Весьма равномерные (неконтрастные)	<0,5	Нераскрытые	<0,55
Равномерные (низкоконтрастные)	0,5-0,7	Со средним раскрытием	0,55-0,74
Неравномерные (контрастные)	0,7-1,1	С высоким раскрытием	>0,75
Весьма неравномерные (высококонтрастные)	1,1-1,5		
Сверхнеравномерные (особоконтрастные)	>1,5		

При обогащении руды с получением конечного продукта предлагается использовать показатель раскрытия P [9], определяемый

выражением:

$$P = \frac{M}{2(1 - \alpha)},$$

где: α – среднее содержание полезного минерала в выборке, отн. ед.

Опираясь на предельные результаты разделения и используя значения показателей M и P (табл. 7), можно делать предварительные выводы о возможности обогащения руды и целесообразности получения тех или иных продуктов, т.е. планировать дальнейшие экспериментальные работы. При высокой степени раскрытия $P > 0,75$ возможно получение высококачественных товарных концентратов. Для руд со средним раскрытием $P = 0,55 - 0,74$ и контрастностью $M > 0,5$ целесообразно выделение трех продуктов: товарного концентрата, отвальных хвостов и промпродукта, направляемого на глубокое обогащение. При $P < 0,55$ и $M > 0,5$ возможно выделение отвальных хвостов. При $P < 0,55$ и $M < 0,5$ руда не обогатима. При этом всегда следует иметь в виду, что данные оценки получены на выборке от пробы руды.

3.5. Выбор метода сепарации и признака разделения

В качестве признака разделения метода сепарации выступают физические свойства руд и вмещающих пород, фиксируемые непосредственно детекторами (сенсорами) или с использованием внешнего возбуждающего воздействия различного вида излучениями и физическими полями. Параметром признака разделения является обработанный результат измерения признака разделения. Куски выборки изучаются с применением комплекса специально приспособленной (моделирующей геометрию камеры сепаратора) измерительной аппаратуры, которая условно называется «аппаратурой признаков разделения» (АПР). Примерный комплекс АПР включает:

- спектрометрическую рентгенорадиометрическую установку, использующую в качестве возбуждающих устройств рентгеновские трубки с Ag, W и Re анодами и соответствующими фильтрами. Для достижения высокой селективности измерений целесообразно использование радионуклидных источников: Fe^{55} , Cd^{109} , Am^{241} , Co^{57} . В комплексе с полупроводниковыми детекторами, имеющими высокое энергетическое разрешение, обеспечивается измерение характеристического рентгеновского излучения элементов от Ca до U с максимальной селекцией;

- рентгенолюминесцентную установку с возбуждением люминесценции, например, трубкой типа 5БХВ-6 при анодном напряжении до 50 кВ и регистрацией ФЭУ-100 с использованием пороговых светофильтров УФС-2, СС-8 и ОС-12;

- гамма-спектрометр со спектрометрическим детектором NaJ(Tl) для определения U, Ra, Th и K по естественной радиоактивности;

- измеритель добротности (Q-метр) типа Е9-4 с плоскими катушками на резонансные частоты 1,75 и 13,56 мГц;

- измеритель магнитной восприимчивости (χ – метр) КТ-6.

На рентгенорадиометрических установках из-за малой глубинности метода измерения производятся с двух сторон при наборе статистики за 30-60 секунд. Определяются нормированные на рассеянное излучение аналитические параметры K_{α} линии для элементов с $Z \leq 58$, а для элементов с $Z > 58$ параметры $L_{\alpha, \beta}$ линий характеристического излучения (т.н. *спектральные отношения*). Если позволяет программное обеспечение аппаратуры, селективность метода и эффективность признака разделения могут быть повышены путем вычитания фона, учета наложения линий мешающих элементов по способу Долби и учета избирательного подвозбуждения линиями вторичного характеристического излучения, превышающими по энергии К-край возбуждения измеряемого элемента [11].

На рентгенолюминесцентных установках в качестве параметров признаков разделения используются измерения потоков люминесцентного свечения с фильтрами, представляемые в виде спектральной разности или спектральных отношений. В алмазной сепарации используются параметры кинетики затухания люминесценции.

Достаточно часто в качестве параметров признака применяются абсолютные величины измеряемого параметра, например: интенсивности гамма-излучения при установленных уровнях дискриминации гаммарадиометрического или гаммаабсорбционного методов; добротности контура (Q) с последующим расчетом активного и реактивного сопротивлений и значения магнитной восприимчивости в соответствующих единицах для радиорезонансного и магнитного методов.

Изучение кускового материала фотометрическим методом выполняется путем поочередной подачи кусков в камеру сепаратора и фотографирования объекта измерения с двух сторон с получением в конечном итоге площадных параметров проявления цветовой разности в RGB или в другой используемой аналитической системе.

К данным исследованиям в обязательном порядке добавляются определения плотности кусков методом гидростатического взвешивания кусков в воде и воздухе, результаты которых, оформленные в виде таблицы фракционного состава, представляют интерес для предварительной оценки возможности обогащения руды методами отсадки и тяжелосредной сепарации.

После выполнения комплекса необходимых измерений каждый кусок измельчается до порошковой пробы аналитической крупности -70 или -40 мкм в зависимости от требований методики анализа. Лабораторный анализ на основные компоненты в ряде случаев должен сопровождаться ИСР-анализом на 56 элементов, что позволяет использовать корреляционные связи для выбора косвенного признака разделения.

Обработка данных измерений с разделением по параметрам признаков разделения производится способом фракционного анализа с расчетом показателей интегральных распределений (Приложение Г). На сайте к методике прилагается программа расчета «Kontrast». Количество фракций должно быть не менее десяти, из них с предполагаемыми хвостовыми

содержаниями не менее половины.

Для оценки воздействия процесса измерений на качество разделения рассчитывается показатель признака разделения Π , который определяется как максимум средневзвешенного отклонения содержания полезного компонента во фракциях, полученных путем последовательной группировки кусков, расположенных в порядке возрастания величины признака разделения, от среднего содержания компонента в руде [12]:

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

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

γ_i – выход фракции, отн. ед.

При разделении по содержанию показатели Π и M тождественно равны. Величина показателя Π также меняется в пределах от 0 до 2. Мерой соответствия между признаком разделения и содержанием полезного компонента является величина эффективности признака разделения $\mathcal{E}_\Pi = \Pi/M$. Величина эффективности признака разделения используется в качестве критерия при выборе метода сепарации и признака разделения, т.е. позволяет по данным измерений кусков выборки сравнивать как признаки разделения внутри метода, так и методы разделения между собой. Приемлемыми считаются значения \mathcal{E}_Π от 0,8 до 1,0.

3.6. Определение границ разделения процесса радиометрической сепарации

Предварительное определение границы разделения процесса сепарации производится непосредственно на сепараторе с использованием тех же кусков выборки, по которым производились измерения на АПР. Куски измеряются в камере сепаратора в динамическом режиме с набором статистики за реальный для сепарации промежуток времени измерения порядка $0,03 \div 0,1$ с.

Предлагаемая граница разделения и предварительные технологические показатели РРС по выборке определяются в результате анализа фракционного состава выборки (Приложение Г) по кривым обогатимости (рис. 1). Дискретные значения технологических показателей таблицы используются в качестве координат кривых обогатимости. Графический способ определения границы разделения на примере выборки Zr-TR-Nb-Ta руды Катугинского месторождения показан на рис. 1. По оси абсцисс откладываются значения аргумента – границы разделения $\lambda_{\eta Ta}$. По оси ординат – значения функциональных величин: выхода хвостов $\gamma_{хв}$, извлечения в хвосты (потерь) $\epsilon_{хв}$, содержания в хвостах $\theta_{хв}$ (требуют построения отдельной диаграммы) и дополнительно рассчитываемого показателя обеднения хвостов τ [12]. Показатель τ имеет значение кратности степени обеднения хвостов по сравнению со средним содержанием в пробе α (аналогичен показателю степени обогащения) и рассчитывается как:

$$\tau = \frac{\alpha}{\theta} = \frac{\gamma_{XB}}{\varepsilon_{XB}}$$

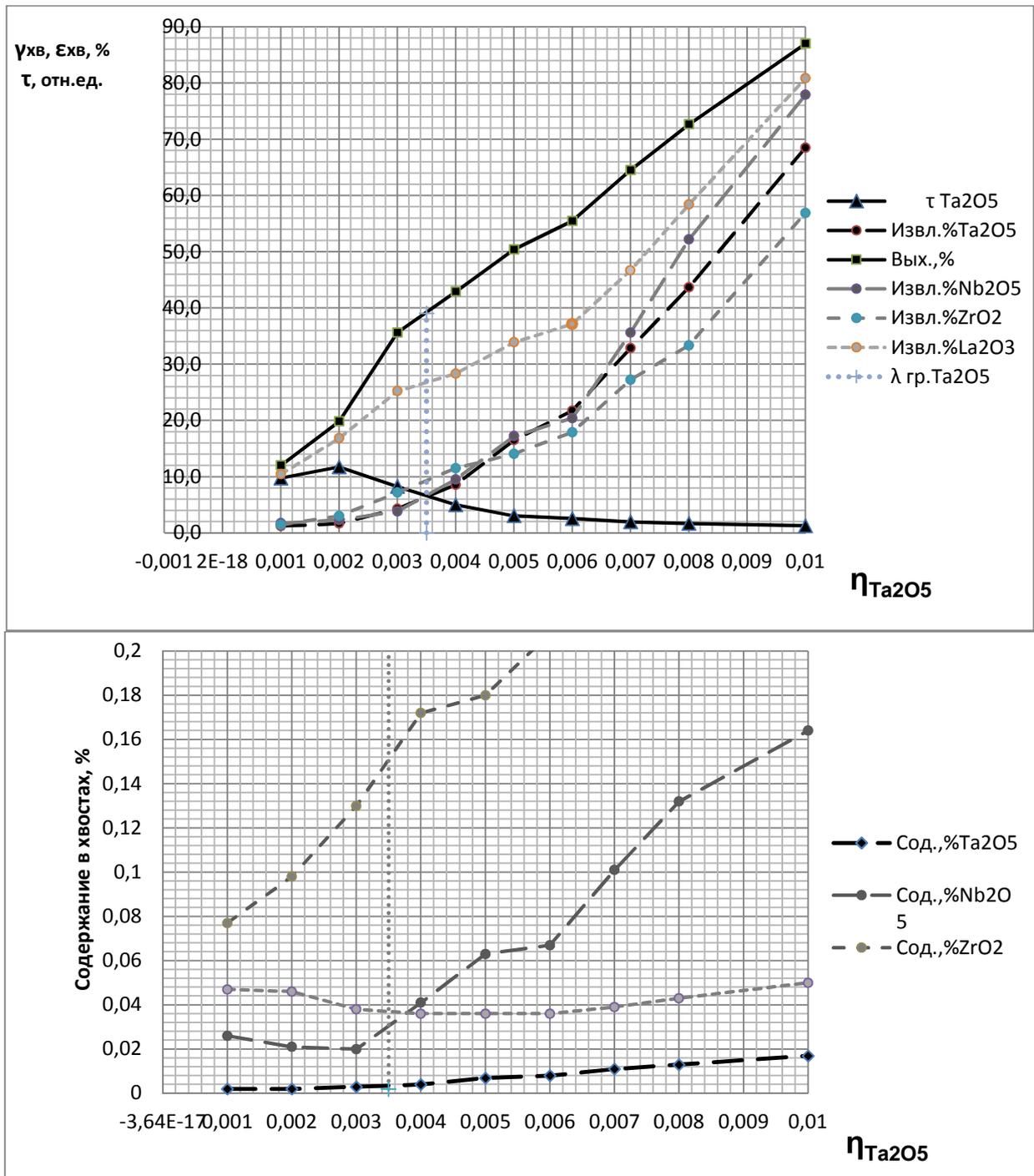


Рис. 1. Кривые обогатимости выборки комплексной руды Катугинского месторождения при сортировке по параметру $\eta_{Ta_2O_5}$ (рекомендуемая граница разделения $\lambda_{гр}=0,0035$)

Кривая τ носит убывающий, а кривая ε_{XB} – возрастающий характер. Координата точки их пересечения по оси абсцисс принимается в качестве рекомендуемого значения технологической границы разделения процесса сепарации $\lambda_{гр} = \eta_{Ta} = 0,0035$, которой соответствуют оптимальные содержания в хвостах с потерями в них 6-9% при выходе 39%. Для основных компонентов Zr-Nb-Ta показатель $M=0,75-0,95$ соответствует контрастной

(по В.А. Мокроусову) руде. Кривая извлечения в хвосты для $TR M=0,51$ из-за относительно равномерного распределения повторяет форму кривой выхода хвостов.

3.7. Комплексование признаков разделения

При изучении обогатимости комплексных редкометалльных руд исследуется эффективность применения нескольких радиометрических методов и признаков разделения. В зависимости от алгоритма обработки измеряемых параметров выделяется два вида сепарации [13]: многопараметровая – с независимыми признаками разделения и многомерная – с единым многомерным признаком разделения.

В первом случае сепаратором производится последовательное сравнение параметра η каждого изучаемого признака разделения с заданным пороговым значением. Для отбора кусков в концентрат достаточно превышение заданного порога хотя бы по одному признаку, что реализуется логическим режимом «ИЛИ». Для отбора кусков в хвосты работает альтернативная логика «И» с отбором кусков, имеющих значения параметров всех измерений ниже заданных. Этого типа алгоритмы отбора заложены в устройства обработки сигналов современных сепараторов, в том числе и типа СРФ компании ООО «Радос».

Во втором случае по каждому признаку вычисляется относительное эффективное содержание $C_{\text{отн}}^{\text{эфф}} = C^{\text{эфф}} / C_{\text{ср}}^{\text{эфф}}$ компонента для куска, определяемое по аппроксимирующей функции корреляционной связи признака разделения $C=f(\eta)$ с нормированием на среднее значение по выборке. Для формирования единого многомерного признака вычисляется среднее относительное эффективное содержание $C_{\text{отн}}^{\text{эфф } m}$ для m признаков, которое в конечном итоге сравнивается с заданным граничным значением. Структура многомерного признака разделения позволяет при замене среднего на средневзвешенное относительное эффективное содержание учитывать экономическую значимость полезного компонента, т.е. вести сепарацию по условному компоненту. Граница разделения при сепарации определяется по кривым обогатимости.

Многомерный признак может быть реализован в сепараторе с комбинацией методов разделения для выделения общих хвостов. На рис. 2 показана принципиальная схема построения трехпродуктового сепаратора с монослойной подачей кусков и последующим измерением с разделением в свободном падении. В светозащитной измерительной камере размещаются блоки возбуждения и детектирования различных методов сепарации: рентгенорадиометрического (3, 6) и рентгенолюминесцентного (3, 5) в сочетании с фотометрическим (4, 5) и гаммарадиометрическим (2). В настоящее время комбинация первых двух методов осуществлена в рамках ОКР сепаратора типа СЕРФ-34Л НПП «Буревестник».

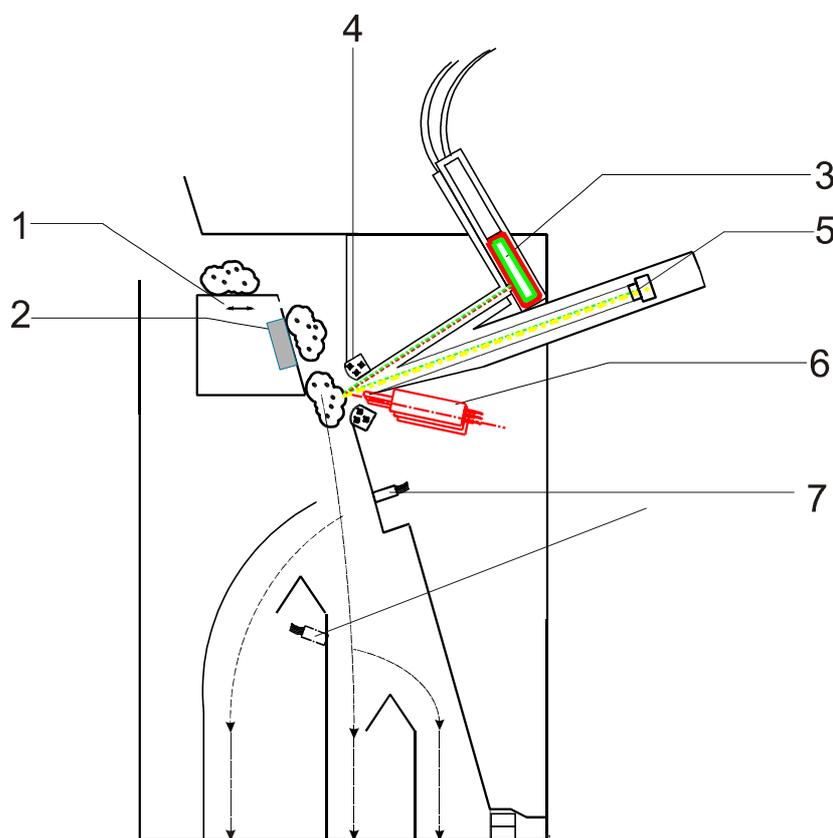


Рис. 2. Принципиальная блок-схема трехпродуктового комбинированного сепаратора:
 1 – питатель-раскладчик, 2 – линейка сцинтилляционных детекторов,
 3 – две рентгеновские трубки для возбуждения люминесценции и флюоресценции,
 4 – люминесцентные лампы видимого или ультрафиолетового света, 5 – оптическая фотокамера, 6 – линейка полупроводниковых детекторов, 7 – воздушные клапаны

4. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕПАРАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОБОГАТИМОСТИ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД

Для комплексных редкометалльных руд предлагается ориентироваться на комплекс методов радиометрического обогащения, применимость которых указана в Приложении А. При этом сначала рекомендуется использовать высокопроизводительные методы сепарации (ФММ, ГРМ, СМС), обеспечивающие получение хвостов и коллективного концентрата с допустимыми потерями основных и попутных компонентов. Затем для специфических требований со стороны технологии последующего передела могут быть использованы селективные методы сепарации (РРМ, РЛМ и др.), позволяющие получить продукты с заданными соотношениями полезных компонентов.

В случае, когда основной компонент не может быть зафиксирован измерительным устройством сепаратора из-за низкого содержания или условий возбуждения (Be, Li, Sc, K и др.), следует использовать корреляционные признаки разделения, например, содержание попутного компонента при наличии тесной корреляционной связи $r > 0,7$.

Примером комплексного обогащения являются работы, проведенные на рудах Вишняковского месторождения [4]. Разработанная для этих руд технология позволяет на стадии крупного дробления выделить отвальные хвосты высокопроизводительной ФМС, затем методами РРС и РЛС получать крупнокусковой товарный калишпатовый продукт высшего качества и сподуменовый концентрат, а также дополнительное количество отвальных хвостов.

Пример изучения комплексных руд месторождения Африканда, обладающих устойчивыми корреляционными связями между основными, попутными компонентами и физическими свойствами руды (табл. 8), показывает перспективы комплексирования радиометрических методов предварительного обогащения с сухой магнитной сепарацией СМС в голове процесса для разделения титаномагнетитовых и перовскитовых руд (рис. 3).

Таблица 8

Коэффициенты корреляции между содержаниями компонентов и параметрами физических свойств

Компоненты, %	TiO ₂	Fe _{общ}	Nb ₂ O ₅	TR ₂ O ₃	Ta ₂ O ₅	Уд. γ-активность	Уд. магнитная восприимчивость
TiO ₂	1	-0,40	0,95	0,96	0,85	0,91	-0,35
Fe _{общ}		1	-0,44	-0,48	-0,51	-0,24	0,93
Nb ₂ O ₅			1	0,98	0,78	0,87	-0,41
TR ₂ O ₃				1	0,90	0,89	-0,44
Ta ₂ O ₅					1	0,78	-0,48
Уд. γ-активность						1	-0,40
Уд. магн. воспр.							1

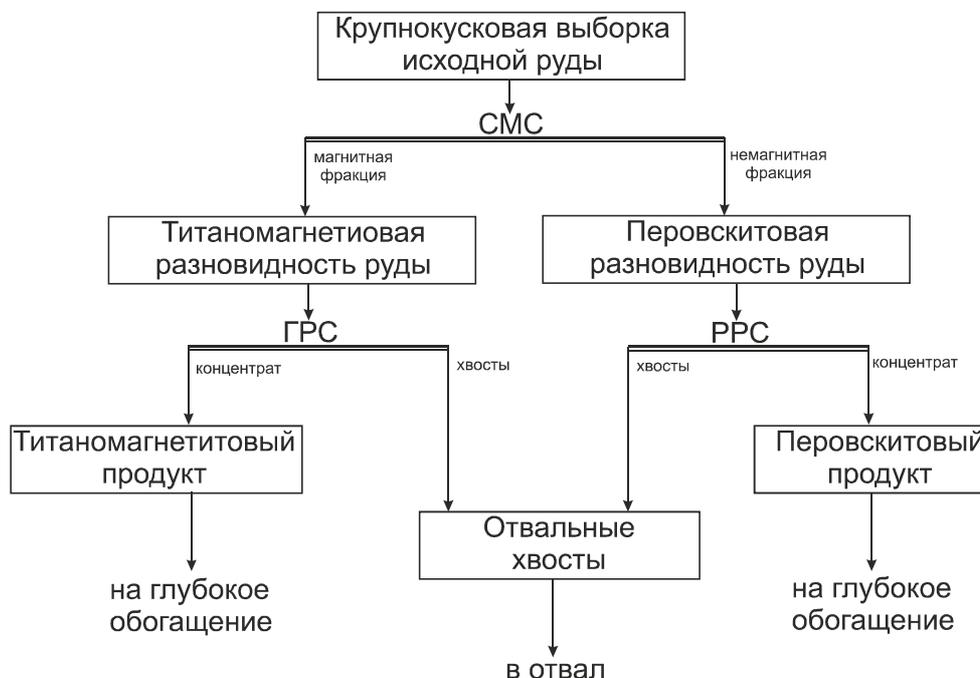


Рис. 3. Принципиальная схема предварительного радиометрического обогащения машинных классов комплексной руды месторождения Африканда с использованием крупнокусковых методов сепарации

Для последующего удаления из титаномагнетитовой руды хвостов, обусловленных внутриконтурным разубоживанием и внеконтурным засорением пироксенитами, целесообразно использование метода ГРС, который обеспечивает допустимый уровень радиоактивности хвостов. Для выделения в хвосты пород внутриконтурного разубоживания из перовскитовой руды предлагается метод РРС с комплексным признаком разделения по сумме относительных эффективных содержаний Ti и Nb. Содержание Ti является прямым признаком на перовскит, однако его измеряемый параметр регистрируется сепаратором с относительно низкой эффективностью (см. табл. 2). Содержание Nb достаточно хорошо коррелирует с Ti и уверенно регистрируется сепаратором. Их комбинация повышает эффективность разделения, обеспечивая помехоустойчивость при загрязнении кускового материала.

5. ПИЛОТНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УТОЧНЕНИЮ ГРАНИЦ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИ СЕПАРАЦИИ

Для уточнения границ разделения проводится серия пилотных экспериментов (2-3 опыта) со сменой режимов сепарации при незначительном изменении предварительно установленной границы разделения в ту или другую стороны. Критерием выбора уточненной границы является качество и выход хвостов и потери с ними полезных компонентов. Для проведения экспериментов используются представительные выборки кусков по 200 штук от сепарируемых классов. Согласно данным табл. 6 принимаемый объем выборок обеспечивает приемлемую статистическую точность определения показателей хвостов по содержанию и выходу.

6. ОПЫТНАЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ ПРОБЫ

Проведение опытной радиометрической сепарации при выбранных границах разделения позволяет на основном объеме кускового материала пробы получить технологические показатели по классам крупности руды. Нормируя полученные показатели на предельные показатели разделения и технологические показатели метода с АПР, рассчитываются показатели эффективности процесса сепарации и эффективности работы сепаратора по выделению отвальных хвостов и концентратов.

При проведении опытной сепарации разделительное устройство сепаратора должно быть настроено на вероятность срабатывания >90% при паспортной производительности и нагрузке на отсечку до 50% кусков. Для выполнения последнего условия предусмотрен реверсивный режим, дающий возможность вести отсечку или концентрата, или хвостов.

Технологическая схема опытной сепарации включает основные и контрольные операции. Контрольная сепарация должна подтверждать заданное качество хвостов и эффективность работы сепаратора. При ненадлежащем качестве хвостов основной сепарации контрольная сепарация включается в рекомендуемую технологическую схему.

Все продукты подвергаются разделке и опробованию. Технологические показатели сепарации сводятся в таблицу (табл. 9), где отражаются показатели по отдельным классам крупности, подводится итог по сумме сепарируемых классов и даются выходные технологические показатели для прогнозируемого гранулометрического состава руд.

В процессе формирования пробы на последующее глубокое обогащение в случае дефицита материала отсева или его полной непредставительности в случае kernовых проб доля отсева составляется путем отквартовки от материала мелких классов разделки продуктов сепарации таким же образом, как при формировании пробы «исходной руды». Доли концентратов РРС отквартовываются от продуктов разделки концентратов заданных классов крупности с массами, пропорциональными прогнозируемым выходам.

Таблица 9

Технологические показатели предварительного радиометрического обогащения пробы на сепараторе с выделением отвальных хвостов

Продукты	Выход, %		Содержание ценных компонентов, %			Извлечение ценных компонентов от класса, %			Извлечение ценных компонентов от исходной пробы, %		
	от класса	прогноз	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			
Классы крупности -50+25 мм, -25+10 мм (те же строки)											
Сепарируемые классы крупности -100+10 мм											
Σ Концентрат											
Σ Хвосты											
Исходный класс	100,0					100,0	100,0	100,0			
Показатели радиометрического обогащения по вариантам (вариант 1, 2...)											
Σ Концентрат	–					–	–	–			
Σ Хвосты	–					–	–	–			
Отсев -10 мм	–					–	–	–			
Σ Концентрат+отсев	–					–	–	–			
Исходная проба	–	100,0				–	–	–	100,0	100,0	100,0

7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ

Аппаратура и оборудование, применяемые 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. Быховский Л.З., Потанин С.Д. Геолого-промышленные типы редкометалльных месторождений. М.: РИС ВИМС. 2009. 157 с.
2. СТО РосГео 08-009-98 «Твердые негорючие полезные ископаемые. Технологические методы исследования минерального сырья. Радиометрические методы обогащения». М.: РосГео, 1998. 74 с.
3. Требования к изучению радиометрической обогатимости минерального сырья при разведке месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых. ГКЗ РФ, М.: 1993. 26 с.
4. Соколов Ю.Ф., Литвинцев Э.Г. и др. Комбинированные технологии переработки труднообогатимых редкометалльных руд // Обогащение руд. 1997. № 4. С. 16-20.
5. Методические рекомендации НСОМТИ № 102 «Отбор технологических проб при геологоразведочных работах на рудные полезные ископаемые». М.: ВИМС. 2018. 27 с.
6. Справочник по обогащению руд. Специальные и вспомогательные процессы, испытания обогатимости, контроль и автоматика. Под ред. О.С. Богданова, В.И. Ревнивцева. 2-е изд. М.: Недра. 1983. 376 с.
7. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. Под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. 2-е изд. М.: Недра. 1982. 368 с.
8. Проблемы разрушения горных пород и совершенствования технологии разработки месторождений полезных ископаемых. М.: Недра. 1969. С. 127-132.
9. Мокроусов В.А., Гольбек Г.Р., Архипов О.А. Теоретические основы радиометрического обогащения радиоактивных руд. М.: Недра. 1968. 172 с.
10. Литвинцев Э.Г. Критерии технологической эффективности крупнокускового обогащения одно- и многокомпонентных руд. Лабораторные и технологические исследования и обогащение минерального сырья. № 6. М.: ВИЭМС. 1984. Стр. 1-8.
11. Якубович А.Л., Рябкин В.К. Ядерно-физические методы анализа и контроля качества минерального сырья. М.: ВИМС. 2007. 206 с.
12. Методические рекомендации НСОМТИ № 103 «Оценка обогатимости руд черных и легирующих металлов методами крупнокусковой сепарации». М.: ВИМС. 2018. 30 с.
13. Литвинцев Э.Г. Комплексование радиометрических методов при сепарации одно- и многокомпонентных руд // Обогащение руд. 1984. № 2. С. 15-17.

Возможности применения комплекса методов радиометрической сепарации для предварительного крупнокускового обогащения редкометалльных руд основных геолого-промышленных типов месторождений

Геолого-промышленный тип месторождений	Типовой объект	Основные* и полутные полезные компоненты	Минералы-концентраты редких металлов	Средние содержания основных и полутных компонентов	Условия для применения методов радиометрической сепарации				
					Фотометрический	Сухая магнитная сепарация	Гамма-радиометрический	Рентгено-радиометрический	Рентгено-люминесцентный
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЭНДОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ									
В дифференцированных массивах нефелиновых сиенитов									
TR-Nb-Ta в эвдиалитовых рудах стратифицированных массивов уль-траосновных щелочных пород	Ловозерское (лопаритовые руды)	Ta, Nb, TR; Ti, Sr	Лопарит (Nb ₂ O ₅ – 8,7%, Ta ₂ O ₅ – 0,61%, TR ₂ O ₃ – 1,76%, TiO ₂ – 39,64%)	Ta₂O₅ – 0,018-0,027%; Nb₂O₅ – 0,20-0,46%; TR₂O₃ – 0,7-1,7%; SrO – 0,07%; TiO ₂ – 1,70-2,31%	Цветовая контрастность руды	Нет	Уд. γ-активность в U _{эвк.} >0,004%	Nb ₂ O ₅ >0,05% TR ₂ O ₃ >0,03%	Нет
Редкоземельно-циркониевый в массивах нефелиновых сиенитов	Ловозерское, участок Аллуайв (эвдиалитовые руды)	Zr; TR	Эвдиалит (Zr, TR)	Эвдиалит в руде – 22,8%; ZrO₂ в эвдиалите – 12,8%; ZrO₂ в руде – 3,0-0,4 TR ₂ O ₃ (Y) в руде – 0,55-0,58% (в эвдиалите – 2,1%)	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	ZrO ₂ >0,05% TR ₂ O ₃ >0,03%	Нет
В карбонатах и в связи с ними									
Ниобиевый в массивах уль-траосновных щелочных пород и карбонатов	Белозиминское (коренные руды)	Nb; Ta, TR, P	Пирохлор (Nb), гагчеттолит (Nb, Ta, U), колумбит (Nb)	Nb₂O₅ – 0,249%; Ta ₂ O ₅ – 0,0053%; P ₂ O ₅ – 4,05%	Цветовая контрастность руды	Нет	Уд. γ-активность в U _{эвк.} >0,004%	Nb ₂ O ₅ >0,05% TR ₂ O ₃ >0,03%	Апатит, кальцит

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ниобий-танталовый в массивах ультраосновных щелочных пород и карбонатитов	Средне-Зиминское	Ta; Nb, U, P, Zr, TR	Гачеттолит (Ta, Nb, U), пирохлор (Nb, Ta), апатит (P), циркон (Zr), колумбит, бадделейт(Zr), паризит, монацит	Ta₂O₅ – 0,020%; Nb ₂ O ₅ – 0,091%; U – 0,011%	Цветовая контрастность руды	Нет	Уд. γ -активность в U _{экв.} >0,004%	Nb ₂ O ₅ >0,05% TR ₂ O ₃ >0,03%	Апатит, кальцит
Цирконий-фосфор-железородный в массивах ультраосновных щелочных пород и карбонатитов	Ковдорское	Fe; P, Zr	Бадделейт (Zr)	Fe_{общ} – 24,12%; P ₂ O ₅ – 7,3%; ZrO ₂ – 0,17%	Цветовая контрастность руды	Уд. магн. восприимчивость >10.10 ⁻⁵ ед. СИ	Нет	ZrO ₂ >0,05%	Апатит, кальцит
Sr-TR в карбонатитах	Карасутское	TR	Бастнезит, монацит, синхизит (TR)	TR₂O₃ – 2,1%; Fe ₂ O ₃ – до 45%, BaO – 6,9-16%, SrO – 1,8-10,7%, CaF ₂ – 5,3-12%	Цветовая контрастность руды	Уд. магн. восприимчивость >10.10 ⁻⁵ ед. СИ	Уд. γ -активность в U _{экв.} >0,004%	TR ₂ O ₃ >0,03% Fe>0,5%	Флюорит
Редкоземельно-барий-стронциевый в вулканогенных карбонатитах	Халютинское	Sr; Ba, TR	Стронцианит	SrO – 10,17%; BaO – 8,42%; TR ₂ O ₃ – 0,21%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	SrO>0,05%; BaO>0,03%; TR ₂ O ₃ >0,03%	Стронцианит
В массивах редкометалльных гранитов и в зонах их экзоконтакта									
Танталовый в редкометалльных гранитах литий-фтористого типа	Этыкинское	Ta; Li, Nb, Sn	Пирохлор-микролит, колумбит, стриверит, лопарит, циркон, касситерит, лепидолит	Ta₂O₅ – 0,013%; Nb ₂ O ₅ – 0,019%; Sn – 0,021%; Li ₂ O – 0,78%	Цветовая контрастность руды	Нет	Уд. γ -активность в U _{экв.} >0,004%	Нет	Микроклин

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Танталовый в редкометалльных гранитах литий-фтористого типа	Орловское	Ta; Li	Колумбит-танталит, микролит, лепидолит	Ta₂O₅ – 0,013%; Li ₂ O – 0,27%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Нет	Микроклин	
Литий-танталовый в сподуменовых гранитах	Алахинское	Ta, Li; Nb	Колумбит, танталит, микролит, сподумен, протолитионит, поллуцит	Ta₂O₅ – 0,012%; Li₂O – 0,7%; Nb ₂ O ₅ – 0,02-0,03%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Nb ₂ O ₅ >0,05%	Сподумен	
В пегматитах										
Танталовый в пегматитах	Вишняковское	Ta; Nb, Sn, Li, Be, Rb, Cs	Танталит, воджинит, оксиолит, микролит, колумбит-танталит, сподумен, петалит, лепидолит, эвкриптит, касситерит, берилл	Ta₂O₅ – 0,0198%; Nb ₂ O ₅ – 0,0067%; Sn – 0,01%; BeO – 0,03%; Li ₂ O – 0,084%; Rb ₂ O – 0,396%; Cs ₂ O – 0,0351%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Rb ₂ O>0,05%	Сподумен, эвкриптит, микроклин, альбит	
Li-Ta-Nb-Be в пегматитах	Колмозерское	Li; Ta, Nb, Be	Сподумен (Li), танталит-колумбит (Ta, Nb), берилл (Be)	Li₂O – 1,13% Ta ₂ O ₅ – 0,009%; Nb ₂ O ₅ – 0,011%; BeO – 0,037%. Преобладают руды с содержанием 0,5-2% Li ₂ O. Бедные руды с содержанием Li ₂ O 0,1-0,5% составляют 13,6% от всех запасов.	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Нет	Сподумен	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Танталовый (с бериллом) в пегматитах. Развита кора выветривания	Липовый Лог	Ta, Ve	Колумбит, берилл	Ta₂O₅ – 0,0034-0,0062% ; BeO – 0,03%; Nb ₂ O ₅ – 0,0179%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Нет	Нет
В экзоконтакте гранитоидов стандартного типа									
Бериллиевый в зонах грейзенизации	Мальшевское	Ювелирное сырье, Ве; Mo, флюорит	Берилл, изумруд, александрит, фенакит	BeO – 0,14% ; Rb ₂ O – 0,19%; Cs ₂ O – 0,039%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Rb ₂ O > 0,05%	Нет
В гранитах щелочного ряда и зонах их экзоконтакта									
Zr-Nb-Ta в метасоматитах по гранитоидам щелочного ряда	Зашихинское	Ta, Nb; Zr, Gf, Sn, TR, Th, Li	Колумбит и пироклор (Nb, Ta), ильменорутили-струверит (Nb, Ta), циркон и малакон (Zr), монацит (TR), ксенотим (TR), протоитионит (Li)	Ta₂O₅ – 0,034% ; Nb₂O₅ – 0,282% ; ZrO ₂ – 0,2-0,5%; TR ₂ O ₃ – 0,1-0,2%; Li ₂ O – 0,1-0,3%; Sn – 0,02-0,05%	Цветовая контрастность руды	Нет	Уд. γ-активность в U _{экв.} > 0,004%	Nb ₂ O ₅ > 0,05% ZrO ₂ > 0,05% TR ₂ O ₃ > 0,03%	Циркон
Берtrandит-фенакит-флюоритовые метасоматиты	Ермаковское	Ве; флюорит	Берtrandит, фенакит, бавенит, мелинофан, миларит, гельвин	BeO – 1,19% ; CaF ₂ – 24,6%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Нет	Флюорит
В щелочных редкометалльных метасоматитах зон региональных разломов									
Zr-TR-Nb-Ta в щелочных метасоматитах по метаморфическим породам	Катугинское	Nb, Ta; Zr, TR, U, криолит	Пироклор, циркон, TR-флюорит, гагаринит, колумбит, фергусонит	Ta₂O₅ – 0,021% ; Nb₂O₅ – 0,35% ; ZrO₂ – 1,60% ; TR ₂ O ₃ – 0,37% криолит – 1,44%	Цветовая контрастность руды	Уд. магн. восприимчивость > 10.10 ⁻⁵ ед. СИ	Уд. γ-активность в U _{экв.} > 0,004%	Nb ₂ O ₅ > 0,05% ZrO ₂ > 0,05% TR ₂ O ₃ > 0,03%	Циркон, флюорит

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В щелочно-карбонатных и карбонат-сланцевых метасоматитах по породам фундамента и протоплаформенного чехла древних платформ									
Уран-ванадиевый в карбонатно-сланцевых и слюдяных метасоматитах	Средняя Падма	V; U, Pt, Au, Cr	Флогопит (V), роскоэлит (V), фенгит (V)	V₂O₅ – 2,78%; U – 0,074%	Цветовая контрастность руды	Нет	Уд. γ-активность в U _{экв.} >0,004%	TiO ₂ >1%, V ₂ O ₅ >1,5%	Нет
ЭКЗОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ – методы предварительного обогащения неприменимы вследствие низкого выхода кускового материала <30%									
Эндогенные месторождения, в которых редкие металлы находятся в качестве попутных компонентов									
Ванадиевый в титаномагнетитовых рудах габбро-ультрабазитовых интрузий	Гусевогорское	Fe; Ti, V	Титаномагнетит (V)	Fe_{общ} – 14,7-16,5%; V ₂ O ₅ – 0,08-0,15% (в титаномагнетите – 0,57-0,66%)	Цветовая контрастность руды	Уд. магн. восприимчивость >10.10 ⁻⁵ ед. СИ	Нет	TiO ₂ >1%, Fe>0,5%	Нет
Ванадиевая в ильменит-титаномагнетитовых рудах габбро-анортозитовых интрузий	Большой Сэйим	Ti, Fe; V	Титаномагнетит (V)	TiO₂ – 7,67%; Fe_{общ} – 17,6%; Fe_{магн} – 4,2%; V ₂ O ₅ – 0,10% (в титаномагнетите – 0,84%)	Цветовая контрастность руды	Уд. магн. восприимчивость >10.10 ⁻⁵ ед. СИ	Нет	TiO ₂ >1%, Fe>0,5%	Нет
Sc-In-Cd в оловянных и оловосодержащих рудах	Правоурмийское	Sn; W, Cu, Sc, Nb, Bi, Ag	Касситерит (Sc, Nb)	Sn – 0,42%; WO ₃ – 0,037%; Cu – 0,4%; Sc – 0,2 г/т; In – 10,8 г/т; Ag – 7,07 г/т	Цветовая контрастность руды	Уд. магн. восприимчивость >10.10 ⁻⁵ ед. СИ	Нет	Sn>0,03%, Cu>0,2%	Нет
Se-Te-Cd в рудах медно-колчеданных месторождений	Урульское	Cu, Zn, S, Au; Se, Te, Cd	Пирит, халькопирит, борнит, сфалерит	Cu – 2,71%; Zn – 1,03%; Se – 18,5 г/т, Te – 89,99 г/т, Cd – 0,002%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Cu>0,2% Zn>0,2%	Нет

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Литий-цезий-танталовый в пегматитах	Гольцовое	Ta; Sn, Li, Rb, Cs, Nb, Be	Сподумен, колумбит-танталит, поллуцит, берилл, касситерит, амблигонит, литий-цезиевые слюды	Ta₂O₅ – 0,014% ; Sn – 0,053%; Li ₂ O – 0,27%; Cs ₂ O – 0,122%; Nb ₂ O ₅ – 0,007%; BeO – 0,037%; Rb ₂ O – 0,127%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Rb ₂ O > 0,05%	Сподумен
Be-Li-Rb-Cs в рудах флюоритовых апокарбонатных грейзеновых месторождений, связанных с гранитами литий-фтористого типа	Пограничное (флюоритовые руды)	Флюорит; Be, Li, Rb, Cs	Хризоберилл, эвклаз, литиевые слюды	CaF₂ – 35,64% ; BeO – 0,20%; Li ₂ O – 0,16%; Rb ₂ O – 0,0994%; Cs ₂ O – 0,0082%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	Rb ₂ O > 0,05%, Sn > 0,03%	Флюорит
Ta-Nb в перовскитовых рудах массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов	Жидойское	Ti, Fe; P, Nb, Ta	Перовскит	В перовскитовых рудах: TiO₂ – 6,76% , Fe – 9,8% , P₂O₅ – 2,74% . В перовскитовом концентрате TiO ₂ – 42%, (Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅) – 0,55%	Цветовая контрастность руды	Уд. магн. восприимчивость > 10.10 ⁻⁵ ед. СИ	Уд. γ-активность в U _{эвк.} > 0,004%	Nb ₂ O ₅ > 0,05% TiO ₂ > 1%, Fe > 0,5%	Апатит
Sr-TR в апатит-нефелиновых рудах	Кукисвум-чоррское	P; Al, TR, Sr, F, Ga, Rb, Cs нефелин (Ga, Rb, Nb, Ti Cs)	Апатит (TR, Sr), сфен (Nb), Csнефелин (Ga, Rb, Cs)	P₂O₅ – 9,8-14,65% ; TR ₂ O ₃ – 0,25% (в апатите – 0,69%); Nb ₂ O ₅ – 0,0159% (в сфене – 0,379%); TiO ₂ – 1,85%	Цветовая контрастность руды	Нет	Нет	TR ₂ O ₃ > 0,03% SrO > 0,05%, Rb ₂ O > 0,05%	Апатит

* Жирным шрифтом выделены основные промышленные компоненты

Технические характеристики отечественных и зарубежных сепараторов

Типоряд сепараторов (изготовитель)	Класс крупности, мм	Условия измерения	Кол-во каналов (ручьев)	Детектор	Источники возбуждения	Макс. производительность, т/ч
<i>Рентгенорадиометрические</i>						
СРФ3-300, СРФ4-150; СРФ4-3П-150 (ООО Радос, Красноярск)	-300+25	свободное падение	3-4	СИ-11Р2,3 СИ-13Р SDD	РТ	50
РМ-200Р, РМ-100Р, РМ-50Р (ЗАО Интегра, Москва)	-200+25	лента транспортера	2	ПС	РТ	30
<i>Рентгенолюминесцентные</i>						
ЛС-ОД-50-05 (НПП Буревестник, СПб)	-50+5	свободное падение	4	ФЭУ-100-1	РТ	30
ЛСФ-50, ЛСМ-50 (ТОО ЭГОНТ, СПб)	-50+10	свободное падение	2	ФЭУ-100-1	РТ	30, 10
<i>Фотометрические</i>						
Graviti, BeltKompakt, GemStar (Aliud GmbH, Гамбург, ФРГ)	-250+1	свободное падение	монослой	фотокамера	люм. лампы	250
Pro-Secondary Color (ТОМРА, Wedel, ФРГ)	-250+2	свободное падение	монослой	фотокамера	люм. лампы, лазер	250
<i>Радиорезонансные</i>						
ROM Secondary EM (Commodas Ultrasort GmbH, Wedel, ФРГ)	-80+20	лента транспортера	монослой	катушки индуктивности	–	80
<i>Гаммарадиметрические</i>						
Вихрь, Ишим, Агат, РСР-4 (НПК АиМ Восточный ГОК, Желтые Воды, Украина)	-200+25	свободное падение	2-4	NaJ	–	80
ROM Primari, Secondary RM (Commodas Ultrasort GmbH, Wedel, ФРГ)	-250+20	лента транспортера	монослой	NaJ	–	250
<i>Гамма-рентгеноабсорбционные</i>						
Минерал-50-Р-100МЛ, Рубин (НПК АиМ Восточный ГОК, Желтые Воды, Украина)	-100+25	лента транспортера	2-6	NaJ	Gd-153 Am-241	30
ROM Primary XRT (Commodas Ultrasort GmbH, Wedel, ФРГ)	-50+5	лента транспортера	монослой	NaJ	РТ	50

Примечание: РТ – рентгеновская трубка; SDD – кремниевый-дрейфовый детектор; ПС – пропорциональный счетчик

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Фракционный состав выборки кусков класса крупности -50+30 мм руды Катунинского месторождения по сумме относительных содержаний Ta₂O₅, Nb₂O₅, ZrO₂ и предельные показатели разделения (интегрального распределения)

№ фр.	λ (ΣTa,Nb,Zr), отн. ед.	Выход, %	Фракционный состав					
			Содержание, %			Извлечение, %		
			Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂
1	0,4	20,30	0,002	0,021	0,055	1,55	1,48	1,79
2	0,6	9,70	0,004	0,045	0,141	1,84	1,53	2,18
3	0,9	9,64	0,004	0,054	0,219	1,96	1,82	3,38
4	1,2	2,81	0,006	0,077	0,266	0,80	0,76	1,20
5	1,5	1,05	0,007	0,095	0,368	0,36	0,35	0,62
6	1,8	1,44	0,013	0,192	0,198	0,97	0,97	0,46
7	3	2,49	0,021	0,320	0,447	2,72	2,78	1,78
8	4	14,63	0,024	0,364	0,718	17,73	18,56	16,80
9	6	26,22	0,037	0,526	0,751	48,65	48,17	31,52
10	20	11,73	0,039	0,576	2,146	23,43	23,59	40,27

Предельные показатели интегрального распределения, при сепарации - технологические показатели															
Выход, %*	Хвосты						Концентрат								
	Содержание, %			Извлечение, %*			Выход, %*			Содержание, %			Извлечение, %*		
	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂
20,30	0,002	0,021	0,055	1,55	1,48	1,79	79,71	0,024	0,354	0,770	98,45	98,52	98,21		
30,00	0,002	0,029	0,083	3,39	3,00	3,97	70,00	0,027	0,397	0,857	96,61	97,00	96,03		
39,63	0,003	0,035	0,116	5,35	4,82	7,35	60,37	0,031	0,452	0,959	94,65	95,18	92,65		
42,45	0,003	0,038	0,126	6,16	5,58	8,55	57,55	0,032	0,470	0,993	93,85	94,42	91,45		
43,50	0,003	0,039	0,132	6,51	5,93	9,17	56,50	0,033	0,477	1,005	93,49	94,07	90,83		
44,94	0,003	0,044	0,134	7,48	6,90	9,62	55,07	0,033	0,484	1,026	92,52	93,10	90,38		
47,43	0,004	0,058	0,150	10,20	9,68	11,41	52,57	0,034	0,492	1,053	89,81	90,32	88,59		
62,05	0,009	0,130	0,284	27,92	28,24	28,21	37,95	0,037	0,542	1,182	72,08	71,76	71,79		
88,27	0,017	0,248	0,423	76,58	76,41	59,73	11,73	0,039	0,576	2,146	23,43	23,59	40,27		
100,00	0,020	0,286	0,625	100,00	100,0	100,00									

*Накопленные %/%

Руководство по программе расчета фракционного состава и технологических показателей «Kontrast»

Подготовка исходного файла Excel

Подготовка файла данных в **Excel** самостоятельного или в виде части сводной таблицы требует одинакового количества данных в столбцах. При этом количество данных не более 3200. Запоминается имя файла, порядковый № от начала листа, № первой строки данных файла, буквенные обозначения столбцов, отвечающие расчетным параметрам.

Расчеты и построения с программой «Kontrast»:

1. В первом окне «Программа» открывается «файл» – «открыть исходные данные». В появившемся окне «Загрузка файла» проставляется порядковый от начала № листа, № строчки данных столбца. Записывается количество столбцов содержаний, не считая столбца параметра. Латиницей «EN» заносятся буквенные обозначения используемых для расчета столбцов. Отмечается точкой расчет карманов по содержанию (контрастности) или по параметру (обогащаемости).

2. Щелчком «Ок» вызывается окно выбора файла Excel, где выполняется его открытие. В окне «Программа» показываются столбцы данных с возможностью их корректировки. Если замечена ошибка, ее следует исправить, развернув исходный файл **Excel**, сохранить и заново его открыть.

3. Командой «Перевести данные» открывается окошко «Условие расчета 1», в котором задается вид распределения по карманам: по содержанию (расчет контрастности) и по параметру (расчет обогащаемости или распределения).

4. Командой «Принять» открывается окно «Параметры расчета 1», в котором задаются: количество знаков после запятой (для параметра количество знаков будет на 1 больше), количество карманов до 20.

5. В окне «Параметры расчета 2», перейдя на русский «RU» с использованием запятой, задаются верхние пределы фракций. Чтобы обеспечить читаемый масштаб оси содержаний кривых контрастности и обогащаемости последнее значение должно быть кратно 1, 2 или 5. Недопустимо отсутствие кусков в первом кармане.

6. Командой «Далее» открываются для просмотра все информационные окна, сдвигая перекрывающиеся вниз. Первое окно – «Гистограмма» показывает распределение количества кусков (интервалов) по заданным карманам. При появлении иконки об ошибке, последняя закрывается и, возвращаясь в обратном порядке, находится и исправляется допущенная некорректность. Гистограмма может быть распечатана только в жестком формате. Подобные гистограммы дифференциальных распределений следует строить с помощью подпрограммы **Excel** «Анализ данных» в «Сервисе».

7. Под гистограммой открывается «**Результат**» – таблица фракционного состава и технологических показателей. Таблица может быть рассчитана для других карманов путем изменения значений пределов карманов, возвратом в окна «**Параметры расчета 1 и 2**» с изменением количества и значений верхних пределов карманов. Окончательный вариант таблицы переводится на лист Excel установкой точки в окошке «отдельный файл» и командой «записать в Excel».

8. Таблица в Excel-файле без нарушения ее структуры идентифицируется, сохраняется под заданным именем и сворачивается.

9. В окне «**Результат**» командой «построить график» открываются кривые контрастности в традиционном виде или с кривой ξ (установкой точки – «открыть график № 4»). Обозначения кривых перемещаются номером в окошке.

10. Графики сохраняются в формате **.bmp** (это расширение следует записать в имени файла) и направляются на рабочий стол, где могут быть распечатаны. Из закрытого состояния они копируются через буфер в **Word**, где обрабатываются графической подпрограммой с уменьшением яркости сетки путем регулировки света и контрастности.

11. Расчеты другой таблицы с того же исходного файла производятся после последовательного закрытия окон до окна «**Программа**», из которого через «**Файл – открыть исходные данные**» задаются новые столбцы расчета. Все операции по пунктам 2...8 повторяются. Перед тем как дать команду «записать в Excel» переставляется точка в «один файл». В этом случае запись производится в единый свернутый файл Excel, что проверяется при развороте. Таблица идентифицируется, сохраняется и сворачивается.

12. По окончании расчетов таблицы по отдельности копируются в **Word**, где выделяются в пределах контура таблицы с помощью правой клавиши мыши и через «автоподбор» форматируются «по содержанию», после чего они освобождаются от взаимного влияния и искажений.

Подписано в печать 16.11.2018 г.
Формат 60×90 /16. Усл. печ. л. 1,9
Тираж 30 экз. Заказ № 18.

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