

ПОЛУЧЕНИЕ КУЛАРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОПЕРЕРАБОТКИ

Каминский Ю.Д. Email: Kaminskiy1178@scientifictext.ru

Каминский Юрий Дмитриевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Институт химии твердого тела и механохимии,
Сибирское отделение Российской академии наук, г. Новосибирск

Аннотация: настоящая работа посвящена созданию технологии получения редкоземельных концентратов из эфелей ранее отработанной россыпи золота «Центральная - Нижняя» Салурского узла, расположенного в Усть-Янском улусе Республики Саха (Якутия). Целью работы является получение товарного продукта редкоземельных металлов и золота. Техногенное сырье является материалом, прошедшим предварительно первичную обработку, поэтому последующая его переработка связана с большими техническими и технологическими трудностями. Ещё одной особенностью техногенного сырья является его обособленность, уникальность состава и свойств. Поэтому, несмотря на большое число предложений по методам и способам переработки отходов, каждый новый объект необходимо самостоятельно исследовать и оптимизировать процессы для вовлечения в переработку. Разработаны варианты технологий, в которых при переработке 400 м³ исходных песков в сутки получается: куларитового концентрата - 900 кг, содержащего 500 кг куларита или 265 кг ΣTR_2O_3 (~ 30 %); товарного золота - 66 г (химически чистого Au - 60 г.).

Ключевые слова: пески эфелей, минерал куларит, обогащение песков, РЗМ-концентрат, золотой песок.

GETTING KULARITE CONCENTRATE FROM TAILINGS OF GOLD CONVERSION CONCENTRATING

Kaminskiy Yu.D.

Kaminskiy Yuri Dmitrievich - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
INSTITUTE OF SOLID STATE CHEMISTRY AND MECHANOCHEMISTRY
SIBERIAN BRANCH RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, NOVOSIBIRSK

Abstract: this work is devoted to the building-out of a technology for obtaining of rare earth concentrates of dredging tailings. The technology used to work out a scattering of gold in «Central – Lower» of the Salur node, situated in the Ust-Yansky district of the Republic of Sakha (Yakutia). The aim of the work is to obtain a marketable product of rare earth metals and gold. Technogenic raw materials have passed preliminary primary treatment. So, its subsequent processing is associated with great technical and technological difficulties. Another feature of man-made raw materials is their isolation, unique composition and properties. Therefore, despite the large number of proposals on methods of waste recycling, each new object must be independently investigated and processes optimized for involvement in recycling. Variants of technologies have been developed in which processing of 400 m³ of initial sand per day results in: kularite concentrate-900 kg, containing 500 kg of kularite or 265 kg of ΣTR_2O_3 (~ 30 %); commercial gold-66 g (chemically pure Au-60 g).

Keywords: the Sands dredging tailings, a mineral of barite, enrichment Sands, rare-earth concentrate, Golden sand.

Введение

Помимо широко известных и хорошо изученных монацитов магматогенного и гидротермального генезиса в последнее время выявлен в природе метаморфогенный монацит (куларит) с отличающимся спектром распределения РЗМ [1]. В РФ месторождения куларита обнаружены в частности в золоторудных месторождениях Якутии [2]. Комплексное россыпное месторождение «Центральная - Нижняя» находится на северо-востоке Якутии в Юго-восточной части Куларского золотоносного района.

Куларит является минералом, содержащим в своем составе фосфаты редких земель и тория, и представляет собой аутогенную разновидность монацита, отличную от обычного монацита, образующегося в эндогенных условиях [3]. Как и монацит, куларит представляет интерес в качестве источника редкоземельных элементов (лантана, иттрия, лантаноидов) и тория.

Исходным сырьем являлись пески (эфеля) хвостохранилища № 1 и № 2, ранее отработанной россыпи «Центральная Нижняя», ограниченных точками с координатами (табл. 1).

Таблица 1. Географические координаты объекта обработки

№ точек	Северная широта	Восточная долгота	№№ точек	Северная широта	Восточная долгота
1	70°41'40"	134°48'10"	3	70°41'30"	134°43'45"

2	70°41'40"	134°45'20"	4	70°42'05"	134°39'30"
---	-----------	------------	---	-----------	------------

Таблица 2. Характеристика песков эфелей

Наименование	Плотность минерала, г/см ³	Содержание, %	
		Хвосты обогащения в целом	Продуктивная зернистая масса
Обломки пород (1,25 мм)		67,54	
Зернистая масса (1,25+0,03 мм) в том числе:		28,48	100,00
Куларит (монацит)	4.80-5,50	0,779	2,736
Кварц	2,65	20,338	71,586
Сланцы	2,54-2,75	7,00	24,585
Сидерит	3,70-3,90	0,165	0,577
Сульфиды (пирит)	5,00-5,20	0,038	0,133
Глинистые шламы		3,98	

Примерный минеральный и вещественный состав песков (хвостов обогащения), определенный в НИИ «Гиредмет», представлен в табл. 2, а химический в табл. 3.

Таблица 3. Примерный химический состав песков эфелей

Наименование	Сод-е, %	Наименование	Сод-е, %	Наименование	Сод-е, %
Сумма TR ₂ O ₃	1,44	Al ₂ O ₃	7,00	Na ₂ O	0,33
P ₂ O ₅	0,66	Fe ₂ O ₃	5,00	K ₂ O	1,30
SiO ₂	80,0	MnO	0,45	ZrO ₂	0,08
TiO ₂	0,40	CaO	0,33	SnO ₂	0,02

Пески эфелей представлены крупнообломочной частью крупностью (+1,25 мм), продуктивной зернистой массой (-1,25 +0,03 мм) и глинистыми шламами (-0,03 мм). Плотность песков примерно равна - 1,7 т/м³.

Минерал куларит представлен полуокатанными и окатанными зернами овальной, комковатой формы с характерной шагреневой поверхностью. Цвет его непрозрачный, от серого и темно-серого до почти черного, иногда с коричневым оттенком. Блеск жирный. Твердость куларита 5 по шкале Мооса. Минерал обладает слабой магнитной восприимчивостью и концентрируется в электромагнитной фракции при напряженности магнитного поля от силы тока I=5А.

Размер зерен куларита в основном (-0,28+0,14 мм), максимально - около 1 мм, минимально - около 0,04 мм.

Переменчивые количества микровключений (гематит, пирит, сфен, полевые шпаты и др.) обуславливают непостоянство химического состава куларита.

Содержание в нем основных ценных компонентов колеблется в следующих пределах:

сумма TR₂O₃ = 50-60 %; P₂O₅ = 20-25 %;

примеси: SiO₂ = 8,4-15,8 %; TiO₂ = 0,5-1,1 %; Al₂O₃ = 0,2-2,5 %; Fe₂O₃ = 1,2-3,1 %; CaO = 0,3-1,6 %; Na₂O = 0,8-1,2 %; K₂O = 0,2-0,5 %; ThO₂ = 0,1-0,4 %.

Минерал куларит селективно цериевый близкий по среднему составу к монациту. Среднее содержание суммы редкоземельных металлов в пересчете на TR₂O₃ составляет - 53 %, а их распределение:

La₂O₃ 5,42 - 23,28 %

Sm₂O₃ 2,11 - 12,73 %

Ce₂O₃ 28,81 - 48,95 %

Eu₂O₃ 0,47 - 2,19 %

Pt₆O₁₁ 3,27 - 7,84 %

Gd₂O₃ 1,27 - 2,53 %

Nd₂O₂ 19,07 - 38,57 %

Tb₂O₃ до 0,41 %

Dy₂O₃ 0,20 - 0,72 %

Ho₂O₃ до 0,10 %

Er₂O₃ до 0,37 %

Tm₂O₃ до 0,11 %

Lu₂O₃ до 0,03 %

Yb₂O₃ до 0,79 %

Куларит, за счет урана (0,04 %) и тория (до 1,0 %) в своем составе, является радиоактивным.

Золото в песках эфелей, являющихся хвостами гравитационного обогащения, представлено мелкими фракциями (-0,25+0,05 мм) = 80 % и менее 50 мкм = 20 %.

Для расчетов технологического регламента приняты средние содержания золота и куларита, используемые Межведомственной комиссией по государственной экспертизе запасов, прогнозных

ресурсов, геолого-экономической информации по участкам недр, представляемых в пользование (Протокол № 10 от 25.02.1998г. Якутск):

золото - 0,25 г/м³, куларит - 2,266 кг/м³ (в нём $\Sigma TR_2O_3 = 53 \%$).

Конечной продукцией переработки песков эфелей предполагается концентрат редкоземельных металлов и золотой песок. Концентрат РЗМ представлен в основном минералом «куларит». Минерал может быть описан следующей формулой $(La, Ce...)PO_4 \cdot Th_3(PO_4)_4$. Содержание суммы оксидов редкоземельных металлов в концентрате 30-50 %, в том числе оксидов: Ce ~15-25 %, La ~10-15 %, Nd ~7-12%. Содержание урана (400-500 г/т) и тория (3500-4500г/т). Удельная активность U ~ 5000-6000 Бк/кг, Th ~ 15000-20000 Бк/кг. Основными примесями концентрата являются: касситерит - SnO₂, магнетит - Fe₃O₄, пирит - FeS₂, их содержание не регламентируется.

Основные принципы и описание технологии переработки песков

Особенности географического расположения, климатические и экологические условия района делают проблематичным экономичное использование реагентных химических технологий на стадии обогащения сырья. Поэтому круг технологических процессов обогащения ограничен физическими методами (гравитационная, центробежная, электромагнитная сепарация и т.п.).

Так как направляемые на переработку пески, являются хвостами (эфелями) предыдущих процессов гравитационного обогащения, то можно предположить, что в них содержится незначительное количество крупнообломочного материала (валунов, гали) и низкое содержание глинистых продуктов. В тоже время в них могут находиться материалы техногенного характера (обломки деревянных конструкций и изделий, железный скрап и т.п.).

Исходя из особенностей, характеристики песков, приведенных выше, анализа способов, описанных в публикациях [4-7], и собственных исследований автора с сотрудниками [8,9] предполагается следующая блок-схема технологического процесса переработки песков с получением РЗМ-концентрата и извлечением золота [10]:

- 1 - стадийное грохочение для вывода из процесса материала крупностью + 3 мм (предусматривая наличие устройств для улавливания самородков);
- 2 - обезвоживание и обезшламливание пульпы для вывода из процесса продуктов менее 10 мкм;
- 3 - первичное обогащение песков для вывода из процесса основной массы легких минералов (кварц, сланцы и др.);
- 4 - магнитная сепарация пульпы для вывода из процесса сильномагнитной фракции (магнетит, железный скрап и т. д.);
- 5 - гравитационно-центробежное концентрирование хвостов магнитной сепарации для выделения золотосодержащих шлихов;
- 6 - электромагнитная сепарация с предварительным обезвоживанием и просушкой материала для выделения первичного (чернового) РЗМ-концентрата;
- 7 - доводка черного РЗМ-концентрата;
- 8 - доводка золотосодержащих шлихов.

На стадии размыва песков и первичного грохочения в практике золотодобычи применяют различные методы, отличающиеся типом оборудования:

- с использованием гидровашгерда (приборы ПШШ);
- с использованием барабанного грохота (скрубберной бочки, бутары);
- совместное использование гидровашгерда и барабанного грохота;
- с использованием виброгрохотов.

В нашем случае на стадии размыва и первичного грохочения целесообразно использовать приборы гидроэлеваторного типа (гидровашгерд, объединенный с барабанным грохотом при помощи гидроэлеватора).

Аппаратурная схема переработки песков, обеспечивающая переработку 400 м³ песков в сутки, представлена на рисунке 1, а характеристика оборудования в таблице 4.

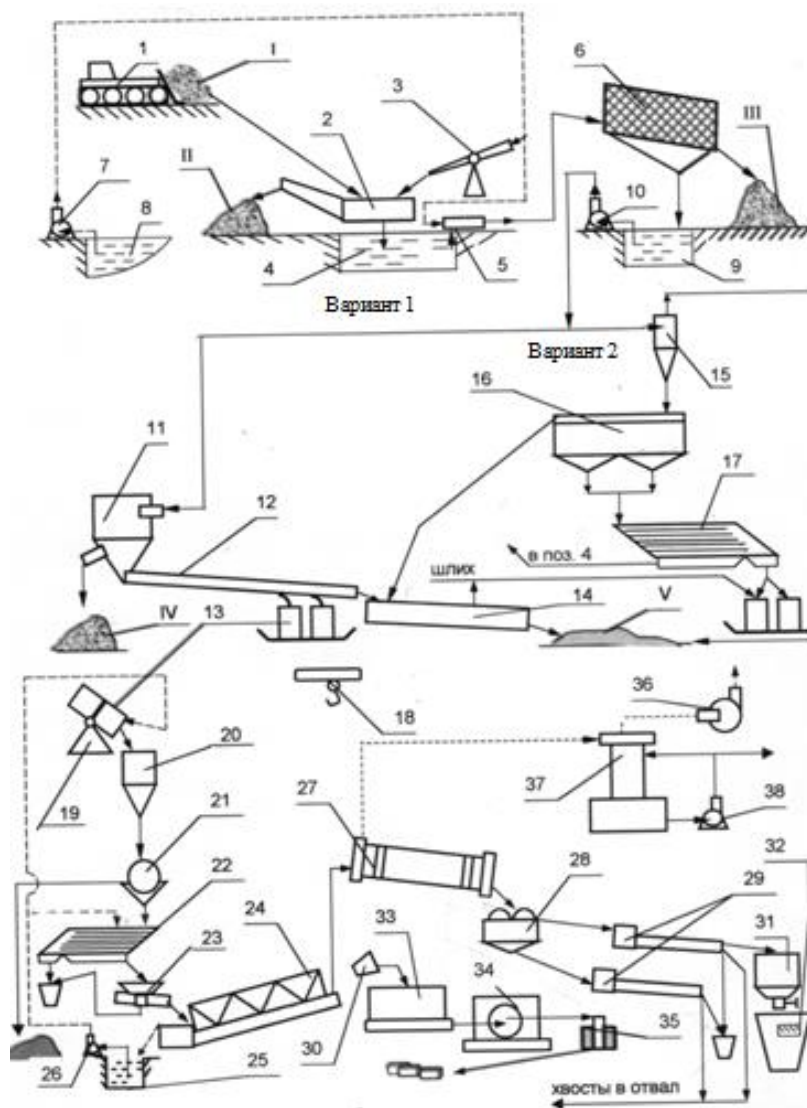


Рис. 1. Аппаратурная схема переработки песков

Таблица 4. Характеристика оборудования

№	Наименование	Характеристика и назначение	Кол. шт.
1	Бульдозер	Т-170	3
2	Размывочный стол	Отверстие диам. 40 мм	1
3	Гидромонитор	Производительность 100 м ³ /час	1
4	Зумпф	Объем 4,0 м ³	1
5	Гидроэлеватор	Производительность 220 м ³ /час, Высота подъема 4 м	1
6	Барабанный грохот	Отверстие 15 мм	1
7	Насос	Производительность 2,5 м ³ /час, Высота подъема 4 м	2
8	Отстойник промвод	Производительность 10 м ³ /час	1
9	Зумпф	Объем 4,0 м ³	1
10	Насос	ГрУ 400/20	2
11	Гидрогрохот	Отверстие 5 мм	1

12	Труба гидроклассификатор	Нестандартное оборудование черт. 2Д-50. 00. 00.000 СБ	1
13	Контейнер	Объем 1,0 м ³	8
14	Шлюз	Коврики 3М NOMAD	1
15	Гидроциклон	ГЦ 250	2
16	Отсадочная машина	МОД-4М	2
17	Концентрационный стол	СКО-7,5	2
18	Электротельфер	4 т	1
19	Опрокидыватель	Нестандартное оборудование	1
20	Дозатор	Нестандартное оборудование	1
21	Магнитный сепаратор	ПБМ 90/250	1
22	Концентрационный стол	СКО-2	1
23	Центробеж. сепаратор	РЦС-400	2
24	Спираль. классификатор	Нестандартное оборудование	1
25	Зумпф	Объем 2,0 м ³	1
26	Насос песковый	Производительность 12,5 м ³ /час, Высота подъема 12,5 м	1
27	Сушильная печь		1
28	Электромагнитный сепаратор	2ЭВС-36/100	4
29	Концентратор	Лоток Леонова	2
30	Контейнер	Объем 0,01 м ³	10
31	Бункер	Объем 0,2 м ³	1
32	Спецконтейнер	Объем 1,0 м ³	30
33	Ферростатический сепаратор	Констр. ИТОМАК	1
34	Прокалочная печь	Конструкция Иргиредмет	1
35	Плавильная печь	Конструкция Иргиредмет	1

Исходные пески (поз. I) бульдозером (поз.1) подаются в приемозагрузочный бункер гидровашгерда (поз.2), где производится их размыв, периодически изменяемым напором струи гидромонитора (поз. 3). Уменьшенный напор используется для отмыва песков от валунно-галечного материала, а повышенный напор водной струи гидромонитора используется для смыва валунно-галечного материала через «гусак» гидровашгерда в отвал (поз. II). Удаление крупногабаритных предметов (бревна, металлоконструкции производится периодически вручную или с использованием бульдозера). Буртовка валунно-галечного отвала производится бульдозером. Так как промывистость песков хорошая (малое содержание глинистых фракций и валунов) рекомендуется использовать грохот на размывочном столе с диаметром отверстий 40-50 мм. Подрешетная пульпа самотеком сливается в зумпф (поз. 4), из которого, за счет

разряжения (инъекции) создаваемой гидроэлеватором (поз. 5), она засасывается в приемную камеру и транспортируется в барабанный грохот (поз. 6). Вода на гидромонитор и гидроэлеватор подается насосом (поз. 7) из пруда отстойника (поз.8). Напор её и расход регулируется задвижками. Надрешетная фракция барабанного грохота стакером направляется в галевый отвал (поз. III), буртовка которого производится бульдозером. А подрешетный продукт сливается в зумпф (поз. 9).

Исходя из возможного состава оборудования имеющегося в наличии у Заказчика обогащение песков возможно по двум вариантам.

Вариант 1. Из зумпфа насосом типа ГрУ 400/20 (поз. 10) пульпа, при соотношении Т:Ж=1:8÷10, подается на гидрогрохот (поз. 11) установки гидравлической классификации рудосодержащих смесей типа «ПОУТ» (черт. 2Д-50.СБ [10]). Рекомендуемые размеры ячеек решета гидрогрохота 5-7 мм. Надрешетный продукт гидрогрохота выводится через разгрузочный патрубок в отвал (поз. II) и буртуется бульдозером. В коническом гидрогрохоте также происходит улавливание, застревающих на колосниках самородков золота, которые извлекаются вручную при запланированных остановках оборудования.

Подрешетный продукт гидрогрохота самотёком поступает в устройство (поз. 12) для улавливания частиц тяжелых минералов, содержащихся в песках. Это устройство выполнено в виде трубы определенного диаметра и длины, установленной с уклоном 4-7° к горизонтальной плоскости, и имеющей в конечной части узлы для вывода концентрата.

Конструктивные параметры трубопровода самотечного пульповода, а именно, длина последнего от входного конца до места установки разгрузочного патрубка и диаметр разгрузочного патрубка определяются на основе выражения, установленного экспериментально-расчетным путем.

Длина «L», как и средняя скорость пульпы в трубопроводе, рассчитывается исходя из условия полного сосредоточения золотоносных частиц в природной части потока пульпы. Из расчета на осаждение самых мелких частиц золота (крупностью до 0,005 мм) на дно пульповода в процессе равномерного движения пульпы, например, со скоростью около $V=2,5$ м/с и с уклоном около 4-7°, и определяется из выражения:

$$L = \frac{D_n \times V}{U_{Au} \times k_1 \times k_2}$$

где: L-искомая величина длины пульповода до места расположения разгрузочного патрубка (минимальная), м;

V-скорость потока пульпы в пульповоде, м/с;

D_n - диаметр пульповода (м);

U_{Au} -скорость свободного падения частицы золота крупностью около 0,005 мм (равна скорости свободного падения частиц пустой породы диаметром 18 мкм или 0,018 мм), определена эмпирически 0,0002 м/с;

K_1 -коэффициент, учитывающий ускорение падения частицы в режиме интенсивного перемешивания потока при движении пульпы, равен:

$$K_1 = \left[\frac{I}{d_2} \right]^{0,085}$$

d-минимальный диаметр частицы, которая должна выпасть в осадок, мм;

I-коэффициент, учитывающий стесненные условия выпадения частиц пустой породы диаметром 0,018 мм и золото крупностью 0,005 мм в придонном слое пульпы (при концентрации пульпы 30 % равен 0,1).

С учетом двукратного запаса на неустойчивость режима работы, затруднения выпадения частиц в головной части пульповода и т.п. рекомендуется принимать практическую длину пульповода до разгрузочного патрубка равную:

$$L_{пр} = 2L$$

Диаметр разгрузочного патрубка должен быть выбран из расчета отсечения придонного концентрата, расход которого при расходе пульповода равном приблизительно $Q=300$ м³/ч. составляет приблизительно 2 %, т.е. 6 м³/ч, со скоростью, близкой к природной скорости пульпы, около 1,75 м/с.

Диаметр разгрузочного патрубка пульповода определяется из выражения:

$$d_{пат} = \sqrt{\frac{4 \times Q_n}{\pi \times v_n^1 \times 3600}}$$

где: $d_{пат}$ — диаметр патрубка, мм;

Q_n - расход придонного концентрата, м³/ч.

Объем обогащенного (Au-РЗМ) концентрата, выходящего с установки гидравлической классификации, составляет 1-2 % к объему перерабатываемых песков. Концентрат через разгрузочные устройства собирается в контейнера (поз.13), установленные на салазках, которые бульдозером доставляются к месту дальнейшей переработки концентрата.

Слив с установки гидравлической классификации, легкие фракции минералов, направляется на шлюз мелкого наполнения (поз. 14), установленного под углом 4-9°, снабженного трафаретами и ковриками 3М NOMAD. На шлюзе ведется доулавливание фракций тяжелых минералов и золота. Шлих со шлюзов собирается вручную при периодических запланированных остановках оборудования. Шлих объединяется с концентратом гидравлической классификации. При большом объеме улавливаемых шлихов, рекомендуется установить два одинаковых шлюза, работающих поочередно в режимах:

- накопление шлиха;
- разгрузка шлиха.

Слив со шлюзов подаются в отвал (поз. V) и буртуются бульдозером. Вода с отвала по траншеям направляется в пруды отстойники и затем используется в обороте.

Вариант 2. Из зумпфа насосом типа ГрУ 400/20 (поз. 10) пульпа, при соотношении Т:Ж=1:8 ÷10, подается в гидроциклон ГЦ-250 (поз.15), пески которого самотеком поступают в отсадочную машину МОД-4М (поз.16). В гидроциклоне происходит обезвоживание песков до Т:Ж=1-3÷4. Слив с гидроциклона по трубопроводу подается на эфельный отвал (поз. V). На отсадочной машине производится отделение и вывод твердых частиц >3 мм и первичная отбивка легких минералов. Частицы золота ≥ 3 мм улавливаются в постели отсадочной машины и извлекаются вручную при периодических её зачистках. Промпродукт с отсадочной машины самотеком поступает на концентрационный стол типа СКО-7,5 (поз.17). Хвосты отсадочной машины сливаются на шлюзы мелкого наполнения (как в варианте 1). На концентрационном столе производится отбивка золота и тяжелых минералов от пустой породы. (Au-РЗМ) концентрат со стола разгружается в контейнера (как в варианте 1), который отправляется на дальнейшую переработку. Хвосты концентрационного стола сливаются в зумпф (поз. 4) в оборот (их доля составляет 4-5 % от основной массы песков, сливаемых в зумпф). Дальнейшая обработка (Au-РЗМ) концентрата проводится на шлихообогатительном участке (ШОУ).

Контейнера с концентратом тельфером (поз. 18) устанавливаются в опрокидыватель (поз. 19), из которых концентрат перегружается (смывается) в бункер дозатор (поз. 20). Из дозатора пульпа концентрата подается на магнитный сепаратор барабанного типа (поз.21) мод. ПБМ 90/250 (016 Тл). В поле постоянных магнитов с величиной магнитной индукции ~ 0,16-0,20 Тл происходит магнитная сепарация, при которой из концентрата извлекаются примеси сильномагнитных компонентов (железный скрап, магнитные минералы). Магнитная фракция сепаратора направляется в спецотвал. Хвосты сепаратора самотеком сливаются на концентрационный стол (поз. 22) типа СКО-2, где происходит отбивка золотосодержащего шлиха. Хвосты концентрационного стола самотеком сливаются на центробежный сепаратор (поз. 23) типа РЦС-400 (или аппарат «Knelson-12»), где производится доулавливание золотосодержащего шлиха. Слив центробежного сепаратора самотеком поступает на обезвоживающий классификатор (поз. 24) спирального типа, где производится снижение влажности концентрата до 12-18 %. Вода с классификатора сливается в зумпф (поз. 25), откуда центробежным насосом (поз. 26) подается в оборот на бункер дозатор (поз. 20), на смыв концентрата. Влажный концентрат со спирального классификатора непрерывно разгружается в сушильную прямоточную печь (поз. 27) барабанного типа с подачей топлива на входе, в которой производится нагрев материала до 150-170 °С и обеспечивается снижение влажности концентрата до 1-6 %. Сухой концентрат сыпается на электромагнитный валковый сепаратор (поз. 28) типа мод.2ЭВС-36/1 00 (1,65 Тс). В процессе сухой магнитной сепарации в высоко градиентном магнитном сепараторе с величиной магнитной индукции в рабочей зоне порядка 1,65 Тс происходит выделение слабомагнитных фракций концентрата, каковым является куларит. То есть происходит обогащение РЗМ-концентрата. Магнитная и немагнитная фракции концентрата с сепаратора сыпаются в приемные бункера концентрационных столов Леонова (поз. 29), установленных в параллельных ветвях технологической линии, и работающих в сухом режиме сепарации. Из немагнитной фракции выделяются два продукта: — золотосодержащий шлих и хвосты. Хвосты разгружаются в контейнера и вывозятся в спецотвал. Магнитная фракция делится на продукты по плотности:

- тяжелая фракция ≥ 5,5 г/см³, - легкая фракция ≤ 3,5 г/см³; - готовый РЗМ-концентрат (3,5-5,5 г/см³).

Золотосодержащий шлих и тяжелая фракция с параллельных ветвей сухой сепарации собираются в контейнера и направляются на извлечение золота. Легкая фракция сухой сепарации загружается в контейнера, и вывозится в спецотвал. Готовый РЗМ-концентрат разгружается в бункер (поз. 31), из которого подается в спецконтейнера (поз. 32), установленные на весах. Из каждой партии концентрата отбирается средняя проба для анализа и подготовки сертификата качества. Загруженные установленным количеством РЗМ-концентрата спецконтейнера герметично закрываются, маркируются и выставляются

на площадку готовой продукции для отправки потребителям. Транспортировка контейнеров производится электротельфером (поз. 18).

Золотосодержащие шлихи, получаемые в технологической цепочке, объединяются и подаются в ферростатический сепаратор (поз. 33). В среде псевдоутяжеленной ферромагнитной жидкости происходит осаждение частиц золота и отделение их от других компонентов. Золотой песок собирается в лодочки, прокаливается от остатков органических компонентов ферромагнитной жидкости в муфельной прокалочной печи (поз. 34) и сдается в ЗПК, для последующей сдачи на аффинажный завод. Хвосты сепарации собираются в контейнера и направляются на спецхранилище. При необходимости золотой песок подвергается плавке в слитки на плавильной печи (поз. 35) конструкции института «Иргиредмет». Запыленные газы с сушильной печи и запыленный воздух над аппаратами сухой обработки концентрата вентилятором (поз. 36) при помощи местных отсосов пропускается через пыле-газоулавливающую установку (ПГУ поз. 37), снабженную системой мокрого орошения и устройством типа «труба Вентури». Пульпа с осадительной камеры ПГУ насосом (поз. 38) периодически откачивается в отвал в установленном порядке согласно "Санитарным правилам обращения с радиоактивными отходами" (СПОРО-85).

Заключение

Проведено исследование песков эфелей, ранее отработанной россыпи золота на предмет минерального и вещественного состава, а также содержания золота, куларита и основных примесей.

Полученные результаты, а также анализ работ автора с сотрудниками и прочих публикаций [4-10] послужил основанием для разработки вариантов технологий переработки песков.

Из-за сложности использования реагентных химических технологий на стадии обогащения сырья круг технологических процессов обогащения ограничен физическими методами (гравитационная, центробежная, электромагнитная сепарация и т.п.).

По первому варианту предлагается использовать установку гидравлической классификации с использованием самотечного пульповода для улавливания частиц тяжелых минералов. Приведен расчет конструктивных параметров трубопровода

По второму варианту для обогащения песков предлагается применять стандартное оборудование (гидроциклон, отсадочную машину, концентрационный стол, центробежный сепаратор).

Выделение слабомагнитных фракций куларитового концентрата, предлагается проводить путем сухой магнитной сепарации в высоко градиентном магнитном сепараторе, предварительно выделив сильномагнитные компоненты.

На часовую производительность 20 м³/ч исходных песков проведен расчет материального баланса процесса переработки песков эфелей. На основании разработанного технологического регламента [9, 10] показано, что при переработке 400 м³ исходных песков в сутки получается:

- куларитового концентрата - 900 кг, содержащего 500 кг куларита или 265 кг ΣTR_2O_3 (~ 30 %);
- товарного золота - 66 г (химически чистого Au - 60 г.).

Список литературы / References

1. Колонин Г.Р., Широнова Г.П., Швецова И.В. Зональное распределение главных РЗЭ в метаморфогенном монаците (куларите) и возможности термодинамической оценки условий его образования/Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН». № 1 (27), 2009.
2. Быховский Л.З. Техногенные месторождения и образования редких металлов России / Л.З. Быховский, Л.В. Спорыхина, С.И. Ануфриева // Рациональное освоение недр, 2014. № 13. С. 14-23.
3. Некрасова Р.А. Куларит – аутогенная разновидность монацита /Р.А. Некрасова, И.Я. Некрасов // ДАН СССР, 1983. Т. 268. № 3. С. 688-693.
4. Патент РФ 2078616 Дронов М.С., Лукьянов В.И. Поточная технологическая линия по переработке металлосодержащей смеси россыпных пород. 10.05.97. Бюл. № 13.
5. Патент РФ 2059441 Аренс В.Ж., Купшеев В.А., Перетягко Ю.А. Устройство для добычи россыпных металлов. 10.05.96. Бюл. №1 3.
6. Патент РФ 2068301 Хрусталева М.И., Лукашева Т.Т., Панин В.Ф. и др. Технологическая линия по выделению благородных металлов из горных пород. 27.10.96. Бюл. № 30.
7. Патент РФ 2089295 Раздолькин В.Н., Ястребов К.Л. Промысловый прибор с непрерывным выводом концентрата. 10.09.97. Бюл. № 25.
8. Каминский Ю. Д., Копылов Н.И. Технологические аспекты извлечения золота из руд и концентратов (обзор зарубежных, отечественных и авторских работ) / Отв. ред. д.т.н. Г.Л. Пашков. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 124 с.

9. Каминский Ю.Д. Вовлечение в переработку техногенных отходов (механохимия для экологии) / отв. ред. Е.Г.Аввакумов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т химии твердого тела и механохимии. - Новосибирск: Издательство СО РАН, 2018. 295 с.
10. Технологический регламент на организацию опытно-промышленного производства по получению монацитовых концентратов и золота АК «Заполярная». ООО «Лаборатория КАМИ» 07.08.2001 г. 30 с.