

**Н.К. Алгебраистова, Д.А. Гольсман,  
К.Е. Ананенко, Е.А. Гроо, А.В. Макшанин**

## **ГРАВИТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАЛЛОВ ИЗ УБОГИХ ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫХ РУД**

*Объект исследования – труднообогатимая золото-кварцевая руда одного из месторождений Красноярского края.*

*Показана эффективность использования стадийных схем выделения золота с использованием центробежных концентраторов и отсадочной машины Kelsey J200 CJ.*

*Ключевые слова: гравитация, центробежная концентрация, золото, сульфиды.*

**З**олотоизвлекающие фабрики (ЗИФ), построенные в советский период в Красноярском крае, являются градообразующими предприятиями. Близлежащие к фабрикам месторождения отработаны, транспортировка руды с новых месторождений, удаленных от фабрик, как минимум на несколько десятков километров, затратна.

Идея состоит в том, что бы получать черновые гравитационные концентраты непосредственно на месторождениях, а на фабрику транспортировать черновой гравитационный концентрат, где его и перерабатывать.

Таким образом, для действующих предприятий представляют интерес месторождения с небольшим содержанием золота при условии существенных запасов и благоприятных условий отработки объектов [1].

Цель данной работы – определить технологические показатели обогащения гравитационным методом руды одного из месторождений Красноярского края.

Исследования были выполнены на пробе руды, отобранной с центральной части рудной зоны Тейско-

Уволжской золотоносной площади. Среднее содержание золота, по данным пробирного анализа, составляет 1,43 г/т.

Минералогическим анализом определено, что сульфиды в руде присутствуют в незначительном количестве: содержание пирита ~1–1,5 %, нахождение арсенопирита, пирротина, медных сульфидов установлено в виде единичных зерен.

Химический анализ показал, что в целом руда обеднена элементами примесями, за исключением мышьяка, висмута и вольфрама. Цветные металлы находятся в количестве тысячных долей процентов.

С целью уточнения форм нахождения золота в исходной руде, по стандартной методике [2] выполнен рациональный анализ при крупности - 0,1 мм. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Как видно, в самородной форме находится 72,7 % золота, в сульфидной – 26,5 % металла. Суммарная доля самородного и сульфидного золота составляет ~99,2 %. Такое распределение определяет направление по изучению технологических свойств руды.

Таблица 1

**Результаты рационального анализа**

Форма нахождения	Содержание Au, г/т	Распределение, %
Au самородное	0,85	72,7
Au сульфидное	0,31	26,5
Au силикатное	0,009	0,8
$\Sigma$ Au	1,169	100
Au валовое	1,15	

Наиболее перспективной в данном случае представляется выделение металла по гравитационной схеме.

Были реализованы эксперименты на концентрационном столе СКО-0,5, центробежной отсадочной машине Kelsey J200 CJ, центробежных сепараторах Итомак КН-0,1 и Falcon L40,

а так же на концентрационном столе Gemeny GT60.

Известно, что центробежная отсадочная машина Kelsey, в сравнении с традиционными гравитационными аппаратами, позволяет существенно увеличить глубину эффективного обогащения минерального сырья крупно-



Рис. 1. Схема обогащения

Таблица 2

**Результаты обогащения на концентрационном столе СКО-0,5 и отсадочной машине Kelsey J200 CJ**

Продукты	Выход, %	Содержание, г/т	Извлечение, %
СКО-0,5			
Гравитационный концентрат	4,08	21,84	68,48
Хвосты	95,92	0,43	31,52
Исходная руда	100,00	1,3	100,00
Kelsey J200 CJ			
Гравитационный концентрат	27,29	4,88	92,9
Хвосты	72,71	0,14	7,1
Всего	100,00	1,435	100

стью менее 50 мкм [3, 4]. Это подтверждается опытом использования отсадочной машины при обогащении оловосодержащих, железосодержащих руд и отделения циркона от кианита при обогащении россыпных песков, при обогащении углей [4,5,6].

Конструкция отсадочной машины была разработана в Австралии и, начиная с 1990 г., аппарат применяется на нескольких предприятиях, таких как BHP Billiton, CRA/Rio Tinto, RGC Minerals, Lonrho Platinum, Anglo Maerican Dupont и других. Показано [4], что применение отсадочной машины нового поколения обеспечивает высокую степень концентрации и извлечение ценного компонента за одну операцию.

Учитывая это, были выполнены опыты на центробежной отсадочной машине Kelsey J200 CJ при следующих условиях: поток по твердому ~100 кг/час, давление воды на входе 250кПа, скорость вращения ~800 об/мин, частота пульсаций/мин ~1000, использовалась постель из магнетита плотностью 5 г/см<sup>3</sup>.

Эксперименты выполнены по стадальной схеме, в крупности -0,5+0; -0,2+0; -0,071+0 мм. В зависимости от крупности обогащаемого материала, условия реализации опытов на

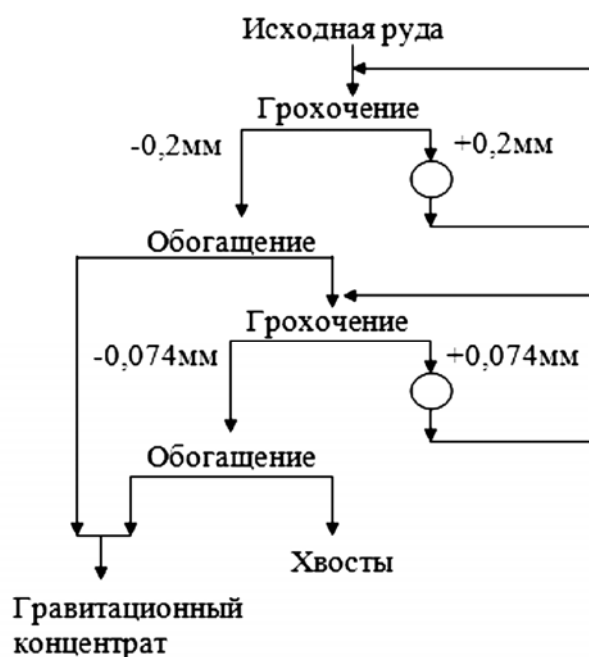
столу СКО-0,5, были приняты следующие: производительность по твердому 44–60 % от паспортной, расход смывной воды 1,26–6,6 л/мин, содержание твердого в питании 25–30 %, поперечный угол наклона 6–8 градусов.

Результаты обогащения представлены в табл. 2, схема экспериментов – на рис. 1.

По данным табл. 2 видно, что при обогащении на концентрационном столе суммарное извлечение в тяжелую фракцию с содержанием золота ~ 21,8 г/т составляет более 60 %. Отсадочная машина Kelsey J200 CJ обеспечивает высокое извлечение металла в концентрат, но степень концентрации металла низкая, а выход концентрата значителен – 27,29 %.

С целью повышения содержания золота, черновые концентраты переочищали на концентрационных столах Gemenu GT 60 и СКО-0,5. Пере очистки выполняли как после доизмельчения (до 100 % кл. -0,1 мм) так на исходных по крупности гравитационных концентратах.

Определено, что применение стола Gemenu GT 60 позволяет за одну операцию выделить продукт с содержанием металла ~ 239 г/т (степень концентрации -10) при извлечении ~33%.



**Рис. 2. Схема обогащения на центробежных сепараторах**

Стол СКО-0,5 обеспечивает более высокое извлечение (~65,7%), но степень концентрации низкая (~5).

Анализ крупности вкрапленности золота исследуемой руды показал, что средние размеры золотин колеблются от 0,075 мм до 0,02 мм. Морфология золота чрезвычайно разнообразна. В целом среди зерен золота преобладают овальные и слабо вытянутые формы, реже встречаются пластинчатые и заметно удлиненные зерна. Минералогический анализ концентратов показал, что наиболее продуктивными являются классы крупности -0,040 мм. В концентрате +0,074 мм обнаружены единичные зерна золота размером 0,075 мм. Среди зерен золота концентратов сростки с другими минералами встречаются очень редко, обычно это тонкие вроски анатаза.

Учитывая вышесказанное, были испытаны центробежные аппараты: концентратор Итомак и сепаратор Falcon.

Концентратор Итомак – отечественный аналог зарубежного сепаратора Нельсона. Это компактный, относительно высокопроизводительный аппарат, работающий на большой скорости и развивающий центробежное ускорение до 60 G [7].

Концентратор Falcon имеет свои принципиальные особенности: конический ротор без кольцевых перегородок, высокое ( $3000 \text{ м/с}^2$ ) центробежное ускорение. По многочисленным исследованиям [8,9] данный аппарат обеспечивает наиболее высокие технологические показатели.

Схема обогащения на центробежных концентраторах представлена на рис. 2. Режим работы концентраторов выбран на основе опыта применения данных аппаратов для аналогичного сырья [7,8].

Результаты экспериментов приведены в таблице 3.

Как видно, суммарное извлечение металла в концентрат для концентратора Итомак составило 54,6% при содержании золота 5,46 г/т. Потери металла с легкой фракцией составили ~ 45%.

Концентратор Falcon извлекает в тяжелую фракцию металл более эффективно. Как видно из табл. 3, потери золота с хвостами ниже и составили 33,16%, при этом получена более высокая степень концентрации ~15.

Таблица 3

**Результаты обогащения на центробежных сепараторах и отсадочной машине**

Продукты	Выход, %	Содержание, г/т	Извлечение, %
<b>ИТОМАК КН-0,1</b>			
Концентрат	13,0	5,46	54,6
Хвосты	87,0	0,68	45,4
Всего	100,00	1,3	100
<b>FALCON L40</b>			
Концентрат	4,39	19,8	66,84
Хвосты	95,61	0,45	33,16
Всего	100,00	1,31	100
<b>Kelsey J200 CJ</b>			
Концентрат	7,86	8,33	45,64
Хвосты отсадки	92,14	0,59	54,36
Всего	100,0	1,435	100,0

При реализации двухстадийной схемы обогащения на отсадочной машине Kelsey получен концентрат, выход которого составил ~ 8 %, степень концентрации ~ 6. Однако, в сравнении с концентраторами Итомак и Falcon потери металла с хвостами несколько выше.

Известно, что масштабирование процесса центробежной сепарации дает сопоставимые технологические показатели. Кроме того, при увеличении типоразмеров сепараторов, наблюдается повышение извлечение металла.

В связи с этим для данного месторождения возможно следующее технологическое решение: строительство модуля, обеспечивающего рудоподготовку и обогащение в две стадии на центробежных сепараторах. Черновой гравитационный концентрат, выход которого составит от руды 5–7 %, транспортируется на ЗИФ для доводки. Потери с хвостами в этом варианте составят ~ 33 %.

При использовании модуля, предусматривающего отсадку руды в три стадии (см. данные таблицы 2) возможно выделение 70 % хвостов с отвальным содержанием в них металла.

Черновой концентрат в этом случае беден по содержанию ~ 5 г/т металла, выход его ~ 27%.

Целесообразность реализации той или иной схемы и ее аппаратного оформления определяется экономическими расчетами для каждого конкретного объекта.

При этом определяющими факторами будут являться транспортные расходы, производительность цеха доводки и гидрометаллургического отделения ЗИФ.

**Заключение**

Проведены исследования гравитационным методом обогащения по стандартной методике с использованием современного оборудования. В работе приведен сравнительный анализ работы гравитационных аппаратов на малосульфидной золото-кварцевой руде.

Определено, что при реализации стадийной схемы с использованием центробежной отсадочной машины Kelsey J200 CJ возможно выделение продукта с отвальным содержанием ценного компонента, потери золота с данным продуктом составили 7,1 %.

Показано, что экологически безопасная технологическая схема с ис-

пользованием центробежных сепараторов может составить достойную альтернативу существующим на золотоизвлекательных фабриках технологиям.

При установке гравитационного модуля непосредственно при месторождении, тяжелую фракцию можно направлять на ЗИФ для дальнейшей доводки и переработки гидрометаллургическими методами.

Таким образом, применение мобильных установок гравитационного типа позволит не только снизить экологическую нагрузку в местах выемки и разработки рудных тел, но и решит проблему дефицита минерально-сырьевой базы работающих ЗИФ за счет вовлечения в переработку убогих по содержанию золотосодержащих руд.

*Работа выполнена в рамках проекта № 13120 «Разработка эффективной технологии извлечения золота из руды на основе применения ультразвуковых воздействий» по Программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса 2009», а также в рамках проекта № 2.1.2/4741 «Комплексные исследования традиционных и биотехнологических методов обогащения и переработки руд цветных и благородных металлов» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов А.М. Золоторудная металлогения Енисейского края: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 4 2010. № 3. p. 371–395.
2. Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд – 3- изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – с. 302: ил.
3. Верхотуров М.В. Гравитационные методы обогащения: учеб. для вузов- М. МАКС Пресс, 2006. – 352 с.
4. Центробежные отсадочные машины Kelsey. Режим доступа: <http://www.cetco.ru/files/mining/11.pdf>
5. Geraghty D. The Kelsey centrifugal Jig – a new era in iron ore beneficiation. Metallurgist Geo Logics Pty. Режим доступа: <http://www.mineraltechnologies.com.au/074.pdf>.
6. A New Technique for Fine Coal Beneficiation. Transactions on MGMI, vol. 101, nos. 1 and 2, April 2004–March 2005.
7. Алгебраистова Н.К. О возможности использования концентратора Кнелсона для переработки различных продуктов золотоизвлекательных фабрик Красноярского края/Н.К. Алгебраистова, Е.А. Алексеева, А.И. Рюмин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва: Московский государственный горный университет, 1997. Выпуск 2. С. 106–112.
8. Центробежные гравитационные концентраторы компании Falcon. Falcon centrifugal gravity concentrators / Mining Mag. 1997. 177, 2. С. 5. – Англ. Место хранения ГПНТБ России.
9. Burt R.O. Ultrafine tantalum recovery strategies/ G. Korinek, S.R. Young, C. Deveau // Min. Eng. Vol. 8, No. 8, pp. 859–870, 1995. **МИЭБ**

#### Коротко об авторах

Алгебраистова Н.К. – профессор, кандидат технических наук, зав. кафедрой ОПИ СФУ,

Гольсман Д.А. – доцент, кандидат технических наук,

Ананенко К.Е. – аспирант,

Гроо Е.А. – аспирант,

Макшанин А.В. – аспирант.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» («СФУ») Институт цветных металлов и материаловедения, [algebraistova@mail.ru](mailto:algebraistova@mail.ru)