

**Вещественный состав и возможность отработки
лежалых кеков выщелачивания Воронцовской ЗИФ, Северный Урал**
(научный руководитель С. В. Петров)

Введение. На территории горноперерабатывающих предприятий за время эксплуатации образуются большие объемы отвальных продуктов обогащения, далее не вовлекаемых в промышленный оборот. Настоящая работа посвящена изучению кеков цианидного выщелачивания руд Воронцовского золоторудного месторождения на Северном Урале и поиску эффективной методики извлечения из них благородных металлов. Целью исследования является определение целесообразности использования техногенного сырья Воронцовской золотоизвлекательной фабрики. Основные задачи включали исследование вещественного состава кеков выщелачивания, определение минеральных форм и особенностей нахождения золота в материале кека и определение параметров, предопределяющих возможность их повторной переработки.

Объектом исследования явился склад кеков выщелачивания на территории промышленной зоны предприятия близ г. Краснотурьинска Свердловской области. Кеки выщелачивания являются отвальным продуктом цикла обогащения с использованием установки чанового цианидного выщелачивания по методу СІР (от англ. *carbon-in-pulp* – уголь в пульпе).

Методика исследования и фактический материал. Было отобрано шесть укрупненных лабораторных проб (суммарной массой более 320 кг), а также материал с поверхности склада по сети 25 ? 25 м (общей массой более 375 кг). Для исследования вещественного состава материала кеков применены гранулометрические, оптические, химические, спектрометрические и томографические методы. Технологические характеристики обогатимости кеков определены с применением гравитационных и флотационных методик.

Результаты определения вещественного состава. Кеки выщелачивания являются техногенным продуктом, главным отличием которого от природного материала является гранулометрический состав. Они представляют собой дезинтегрированный материал крупностью более 98 % класса менее 0.2 мм (табл. 1). В процессе классификации материала обнаружено присутствие более крупных частиц. Среднее содержание гранулометрического класса $-0.5...+0.2$ мм составляет около 1.2 %, а содержание более крупных частиц составляет сотые доли процента.

Таблица 1

Гранулометрический состав материала пробы № 2

Навеска	+5 мм	-5... +1 мм	-1... +0.5 мм	-0.5... +0.2 мм	-0.2... +0.125 мм	Итого	
						+0.125 мм	-0.125 мм
ВК-1		0.027	0.021	3.046	5.676	8.77	91.23
ВК-2		0.069	0.028	1.899	4.985	6.98	93.02
ВК-3	0.052	0.064	0.024	0.307	3.130	3.58	96.42
ВК-4	0.59	0.103	0.058	1.474	4.843	7.07	92.93
ВК-5	0.199	0.054	0.260	0.212	1.857	2.58	97.42
ВК-6		0.002	0.011	0.184	1.918	2.11	97.88
Среднее	0.14	0.053	0.067	1.187	3.735	5.18	94.82
Вариация, %		65.9	143.0	98.1	44.4	53.5	1.0

Частицы размером крупнее 5 мм представлены обломками карбонатных пород без рудной минерализации. Благородные металлы в этой фракции практически отсутствуют, лишь изредка отмечаются концентрации десятые доли г/т. Вероятно, в этом классе присутствуют частицы песков и гравия, которыми лежалые кеки присыпают при проведении противопылевых мероприятий.

Частицы классов крупности $-5...+1$ мм представлены силикатными и карбонатными обломками и обломками активированного угля, используемого для сорбции золота. Содержание частиц угля в этом классе около 50 мас. %. Трещины на поверхности угля забиты шламом карбонатного и силикатного состава, реже отмечаются пленки глинистых частиц и гидроокислов железа, экранирующие поверхность угля. На отдельных зернах угля присутствуют обильные мелкие кристаллы новообразованного гипса. Частицы угля появляются в отвальном продукте вследствие разрушения активированного угля при сорбции золота из растворов (на фабрике применяются угольная фракция +5 мм).

Во фракциях менее 1 мм содержание активированного угля значительно меньше (от 2 % в средних до 0.0015 % в мелких фракциях). Основную массу частиц этих классов крупности составляют силикаты и карбонаты.

Главные породообразующие минералы в кеках представлены карбонатами (среднее содержание по пробам – 37 %), слюдами и гидрослюдами (21 %), полевыми шпатами (8 %), глинистыми минералами (монтмориллонит, каолинит и др. – 4.5 %), хлоритом (3 %), баритом (1.6 %).

Основную массу минералов тяжелой фракции составляет пирит (65 %). В пирите, обогащенном мышьяком, присутствуют единичные мелкие включения самородного золота. Характерной особенностью пирита из кеков является наличие форм растворения на поверхности. Образование части подобных форм предположительно является следствием деятельности тионовых бактерий (род *Thiobacillus*).

С целью определения форм нахождения золота и серебра в кеках выщелачивания исследуемый продукт сепарирован на четыре фракции: сульфидную, магнитную фракции, чистый уголь фракции –5...+1 мм и породообразующие минералы.

Магнитная фракция выделена путем магнитной сепарации кеков, сульфидные минералы выделены флотационным методом. Породообразующие минералы изучены в сливе гидроциклонирования с последующей перемывкой для удаления тяжелой фракции. Оптические исследования материала тяжелой фракции не выявили крупных частиц самородного золота.

Анализ содержаний благородных металлов показал, что 22 % Au и 45 % Ag сосредоточены в породообразующих минералах (силикатах, кварце и их сростках с сульфидами) предположительно в качестве субмикронных включений. Содержание золота в породообразующих минералах составило 0.4 г/т. Сульфидная фракция содержит в среднем 25 г/т золота и 41 г/т серебра. В сульфидах содержится 42.7 % золота и 33.3 % серебра от общего количества металла в кеках. Треть золота и пятая часть серебра кеков приходится на активированный уголь при содержании Au – 1980 г/т и Ag – 2480 г/т. Минералы магнитной фракции содержат 2.2 г/т золота и 5.3 г/т серебра и концентрируют 1.9 % золота и 2.1 % серебра от общего содержания (табл. 2).

Таблица 2

Распределение Au и Ag по классам материалов, слагающих кеки

Вещество	Содержание минералов, мас. %	Содержание в минералах, г/т		Распределение по минералам, %	
		Au	Ag	Au	Ag
Породообразующие минералы	95.36	0.4	1.65	22.6	44.8
Магнетит и прочие минералы железа	1.42	2.2	5.3	1.9	2.1
Пирит, арсенопирит и др.	2.85	25.3	41	42.7	33.3
Активированный уголь	0.03	1980	2480	32.8	19.8
Сумма	99.66	1.69	3.51	100.0	100.0

Техногенный активированный уголь несет до трети золота кеков. Рентгеновское томографическое исследование внутреннего строения частиц угля показало, что золото в них сконцентрировано в трещинах и кавернах преимущественно внутри зерен и, в меньшей степени, на поверхности.

С точки зрения влияния на окружающую среду, исходный материал и уголь проанализированы методом инфракрасной спектроскопии. На ИК-спектрах поглощения не обнаружены даже следовые содержания цианидного иона (рис. 1), что свидетельствует о токсической безопасности кеков.

Результаты технологических испытаний и площадного опробования. На материале кеков выщелачивания был выполнен ряд технологических испытаний с целью получения концентратов, отвечающих товарным параметрам. Наиболее эффективная схема обогащения включает дезинтеграционные и классификационные

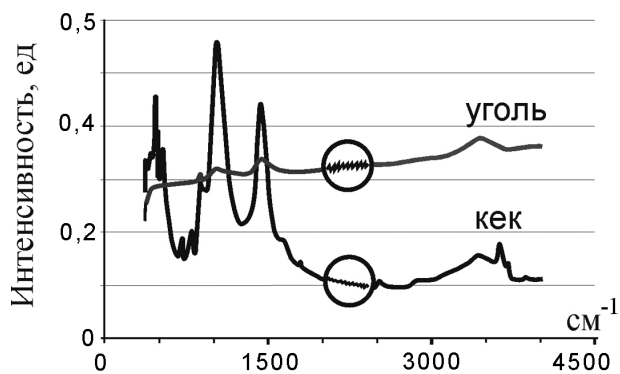


Рис. 1. Инфракрасный спектр угля и пробы кеков. В кружках – увеличенный участок области проявления характерных линий цианида.

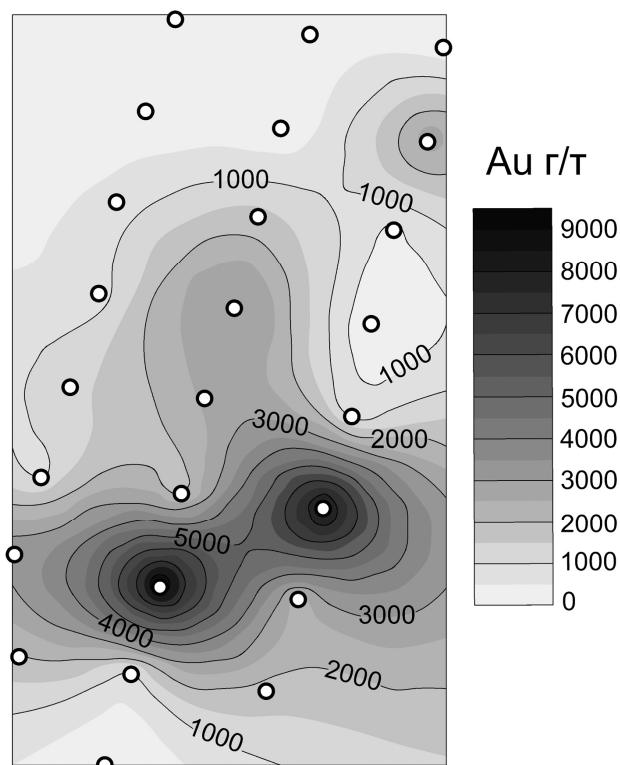


Рис. 2. Распределение золота во фракции -5...+1 мм, г/т.

операции с последующей сульфидной флотацией. Суммарное извлечение золота в продукты концентрирования превысило 50 %. По содержанию металла концентраты соответствуют товарным.

Было проведено площадное опробование хвостохранилища для выявления неоднородности материала. Установлены значительные вариации выхода крупных фракций. Так, выход класса $-5...+1$ мм колеблется от 0.04 до 120 г при средней массе пробы 15 кг. Содержание золота во фракции обратно пропорционально массе выхода класса крупности: от 1.5 г/т в больших до 8000 г/т в малых, представленных чистым угольным продуктом (рис. 2). Распределение содержаний золота в классе крупности $-1...+0$ мм относительно равномерное. Среднее содержание золота составило 1.43 г/т.

Технико-экономический расчет, предполагающий строительство новых производственных мощностей в промышленной зоне предприятия, показал экономическую целесообразность использования складированных кеков выщелачивания как сырья на извлечение золота. Период окупаемости для разных схем реализации концентрата составляет 4 года эксплуатации фабрики.

Выводы. Кеки выщелачивания характеризуются повышенными содержаниями благородных металлов. Золото, сорбированное активированным углем и связанное с сульфидами и пороодообразующими минералами, доминирует. Из кеков возможно выделение товарных концентратов благородных металлов, реализация которых является экономически эффективной.