

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ БОГУНАЕВСКИХ КОНЦЕНТРАТОВ

Каминский Ю.Д. Email: Kaminskiy1179@scientifictext.ru

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

**Аннотация:** суть настоящей работы заключена в исследовании технологий по переработке концентратов, полученных из руд Богунаевского месторождения с получением концентрированного продукта благородных металлов. При проведении исследований изучены технологии обжига концентрата, гипохлоритного извлечения золота и серебра из огарков, технологии плавки, в том числе с использованием свинца в качестве коллектора. Все материалы перед выщелачиванием активировались в лабораторной планетарной мельнице. При выщелачивании извлечение золота в раствор составило 90-95%. Найдены режимы плавки, при которых основная часть золота концентрируется в штейновой фазе.

**Ключевые слова:** обжиг, огарок, выщелачивание, плавка, золото, свинец, штейн.

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR PROCESSING BOGUNAIEVSKY CONCENTRATES Kaminskiy Yu.D.

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

**Abstract:** the essence of this work is the study of technologies for processing concentrates obtained from the ores of the Bogunaevsky deposit to obtain a concentrated product of precious metals. During the research, the technologies of concentrate roasting, hypochlorite extraction of gold and silver from stubs, and melting technologies, including those using lead as a collector, were studied. All materials were activated in a laboratory planetary mill before leaching. During leaching, the recovery of gold in the solution was 90-95%. The melting modes in which the main part of the gold is concentrated in the matte phase are found.

**Keywords:** roasting, stub, leaching, melting, gold, lead, stein.

### Обжиг богунаевских концентратов

Для разработки технологии переработки концентратов, полученных из руд Богунаевского месторождения [1] по комбинированной флото-гравитационной схеме обогащения они были объединены (химический состав объединенного продукта приведен в табл. 1).

Таблица 1. Химический состав объединенного флотогравитационного продукта

Au, г/т	Ag, г/т	Fe, %	Cu, %	Zn, %	Co, %	Ca, %	Mg, %	As, %	S, %	SiO <sub>2</sub> %
51,1	97,6	31,6	0,93	6,08	0,047	0,74	0,13	0,1	43,77	3,94

Первоначально были проведены исследования (табл. 2) по обжигу богунаевских концентратов и получены огарки:

огарок 1 – огарок после термолиза мышьяка;

огарок 2 – огарок после легкого окислительного обжига;

огарок 3 – огарок после высокотемпературного окислительного обжига.

Таблица 2. Химический состав продуктов после термической обработки богунаевского концентрата

Продукт	Содержание, % (Au и Ag в г/т)									
	Au	Ag	Fe	Cu	Zn	Co	Ca	Mg	As	S
Огарок 1	69,9	133,7	43,3	1,27	8,33	0,064	1,01	0,18	-	17,8
Огарок 2	82,3	157,4	51,0	1,50	9,81	0,076	1,20	0,21	-	9,0
Огарок 3	77,3	147,9	47,8	1,41	9,21	0,071	1,12	0,20	-	0,3

### Гипохлоритное выщелачивание огарков

Проведены исследования гипохлоритного способа извлечения золота из огарков богунаевских концентратов. Эксперименты проводились на установке, включающей в себя стеклянные стаканы (200 мл) и мешалку с приводом. Раствор гипохлорита натрия готовился электролитическим методом из раствора хлористого натрия.

Выщелачивание проводилось в слабокислой среде (для снятия пассивирующих золото пленок) согласно режимам, разработанным для гипохлоритного выщелачивания драгметаллов из концентратов Саралинского ГОК [2].

Все материалы перед выщелачиванием активировались в течение 3 минут на лабораторном активаторе измездчителе ЛАИР-0,015 [3]. Для экспериментов использовалась фракция материала крупностью менее 0,074 мм.

При выщелачивании огарка 1 в раствор переходило 50-60 % Au, при остаточном содержании Au в кеке 15-20 г/т. Что объясняется, как и в случае саралинских концентратов, расходом активного хлора на идущие параллельно реакции окисления золота и сульфидной серы.

В случае выщелачивания огарков 2 и 3, прошедших стадию окислительного обжига (десульфуризацию), вследствие практически полного окисления пиритной и пирротиновой серы активный хлор расходуется на окисление Au. При выщелачивании этих материалов извлечение золота в раствор составило 90-95% при остаточном содержании золота в кеках 1.5-2 г/т.

#### **Варианты плавки богунаевских концентратов**

Результаты химических и термических исследований дают основание для рассмотрения возможности переработки богунаевских концентратов автогенной взвешенной плавкой. Основными предпосылками этому является низкое содержание мышьяка и высокое – серы, достаточное для автогенного процесса с использованием тепла горения сульфидов [4]. Исходная проба концентрата в основе содержит сульфиды железа (пирит) и незначительное количество силикатов. Так, сумма железа и серы в нем составляет > 75%, а, включая сульфиды тяжелых металлов цветных металлов ~ 85 %. С учетом имеющейся влаги (~4-6%) доля нерудных составляющих достигает всего около 10 % в т.ч. SiO<sub>2</sub> ~ 4 %.

Из всего изложенного можно сделать вывод в пользу возможного использования автогенной взвешенной плавки для переработки богунаевских концентратов. При этом золото и серебро концентрируются в металлической меди и извлекаются из нее при рафинировании последней, цинк извлекается из шлака с получением белил, а сера из сернистого газа переводится в элементарную.

Разрабатываемая технология предусматривает получение компактного малотоннажного продукта с концентрированием в нем благородных металлов (Au и Ag) и получением отвальных продуктов пустой породы (соединений железа, силикатов, серы) с возможностью их использования в хозяйственной деятельности, т.е. в качестве товарного продукта [5, 6].

Плавки проводили в лабораторной шахтной силитовой печи в алундовых тиглях с подачей дутья на поверхность расплава и без него. Пробы в двойных тиглях нагревали до требуемой температуры и далее выдерживали при этой температуре от 15 до 60 мин в автоматическом режиме.

Полученные результаты опытов показывают, что более четкое разделение штейна от шлака происходит при повышенных добавках и шихту SiO<sub>2</sub>, при этом отмечается и благоприятное распределение золота и серебра между расплавами. Так, без введения SiO<sub>2</sub> разделение, практически, отсутствует, а содержание золота и серебра в штейновой и шлаковой частях близки. При введении до 30% SiO<sub>2</sub> от исходной массы концентрата штейна и шлак хорошо отделяются друг от друга, а золото и серебро почти полностью концентрируются в штейновой фазе.

При введении свинца в шихту благородные металлы концентрируются в основном в свинцовом расплаве, хотя часть их остается в штейне [7]. Опыты показали, что наличие в шихте серы обуславливает образование в расплаве штейнового слоя, в котором концентрируется некоторое количество золота и серебра. При этом значительная часть свинца сульфидируется и переходит в штейн, что неблагоприятно сказывается на распределении золота и серебра по продуктам плавки. При введении в шихту до 50% SiO<sub>2</sub> от исходной массы концентрата шлак получается более жидкотекучим и лучше отделяется от штейна. Введение свинца при повышенных содержаниях серы в шихте приводит к образованию галенитового (свинцового) штейна, в котором концентрируется значительная часть благородных металлов. Поэтому, при использовании данной технологии необходимо вести процесс на максимальный выход серы из расплава, сохраняя небольшое количество в нем штейна, как оборотного промпродукта.

#### **Заключение**

Проведенная серия лабораторных исследований показала принципиальную перспективность разработанных технологий выщелачивания и плавки для получения концентрированного продукта золота и серебра при переработке концентратов, полученных из руд Богунаевского месторождения.

1. Каминский Ю.Д. Переработка золотосодержащей руды месторождения «Богунай» // Наука, техника и образование. № 4 (79), 2021. С. 20-24.
2. 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.
3. Каминский Ю.Д. Механохимические реакторы планетарного типа: Теория и практика / ред. Е.Г.Аввакумов. Новосибирск: Наука, 2015. 200 с.
4. Каминский Ю.Д., Копылов Н.И. Комплексная переработка упорных золотосодержащих руд и концентратов// Тез. докл. научно-практ. конф. «Нижнее Приангарье 97». Красноярск, 1997. С. 223.
5. Копылов Н.И., Каминский Ю.Д. О нетрадиционных технологиях переработки золотосодержащего сырья. // Химия в интересах устойчивого развития СО РАН, 2001. № 9. С. 433-442.
6. Копылов Н.И., Каминский Ю.Д., Мусин Д.Ю. Переработка упорных золотомышьяковых материалов плавкой на штейн. // Цветные металлы, 1999. № 3. С. 24-28.
7. Копылов Н.И., Каминский Ю.Д., Маценко Ю.А. Пиromеталлургическая переработка золотомышьяковых продуктов. // Цветные металлы, 1997. № 12. С. 31-35.