

ПЕРЕРАБОТКА ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «БОГУНАЙ»

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: проведены исследования по обогащению золотосодержащей руды месторождения «Богунай». Обогащение проводили по двум вариантам: гравитацией и флотацией на концентрационном столе и флотомашине. При обогащении руды получен богатый концентрат с содержанием золота 54 г/т при извлечении от руды 28,8 %, и бедный концентрат с содержанием 14,8 г/т при извлечении от руды 41,6 %. Выход хвостов составил 91,6 %, содержание в них золота 0,81 г/т, потери золота с хвостами 29,6 %.

Ключевые слова: руда, обогащение, концентрационный стол, флотация, золото.

PROCESSING OF GOLD-BEARING ORE FROM THE BOGUNAI DEPOSIT 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: studies on the enrichment of gold-bearing ore of the Bogunai deposit were carried out. The enrichment was carried out according to two options: gravity and flotation on a concentration table and a flotation machine. During ore processing, a rich concentrate with a gold content of 54 g/t was obtained at the extraction of 28,8 % from the ore, and a poor concentrate with a content of 14,8 g/t at the extraction of 41,6 % from the ore. The yield of tailings was 91,6 %, the gold content was 0,81 g / t, the loss of gold with tailings was 29,6%.

Keywords: ore, enrichment, concentration table, flotation, gold.

Введение Проведены исследования по обогащению золотосодержащей руды месторождения «Богунай», золото в которой находится в сульфидах (табл. 1). Используются гравитационный и флотационный методы обогащения [1, 2].

Таблица 1. Химический анализ проб руды месторождения «Богунай»

Пробы	SiO ₂ %	Fe _{общ.} , %	Cu, %	Zn, %	Pb, %	S _{общ.} , %	As, %	Ag, г/т	Au, г/т
1	82,4	4,2	0,050	0,022	0,026	3,09	0,0058	14,5	2,35
2	89,0	3,7	0,048	0,023	0,025	2,89	0,0052	15,0	2,85

Руда, измельчалась до крупности -2 мм и рассеивалась на классы: -2 +0,63 мм; -0,63 +0,14 мм; -0,14 +0,074 мм и -0,074 мм. Самый богатый по золоту класс -0,14 +0,074 мм, содержание в котором 6,21 г/т, немного беднее самый мелкий класс -0,074 мм с содержанием золота 4,65 г/т. Самые бедные по золоту крупные классы: -2 +0,63 мм с содержанием Au 1,61 г/т и -0,63 +0,14 мм с содержанием Au 2,13 г/т.

Описание технологии обогащения руды

Каждый класс крупности обогащался отдельно на концентрационном столе марки КЦ-30А. Схема опыта и результаты обогащения представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2. Результаты опытов по гравитационному выделению сульфидов из руды

Продукты	Выход, %		Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %	
	от операц.	от исх.		от операц.	от исх.
Грохочение					
Класс -2 +0,63 мм	39,72	39,72	1,61	25,44	25,44
-0,63 +0,14 мм	41,82	41,82	2,13	35,34	35,34
-0,14 +0,074 мм	8,22	8,22	6,21	20,31	20,31
-0,074 мм	10,24	10,24	4,65	18,91	18,91
ИТОГО:	100,00	100,00	2,652	100,00	100,00
Концентрация класса -2 +0,63 мм					

Концентрат	4,13	1,64	14,00	35,87	9,13
Промпродукт	22,78	9,05	1,33	18,75	4,77
Хвосты	73,09	29,03	1,00	45,36	11,54
Итого кл. -2 +0,63 мм	100,00	39,72	1,61	100,00	25,44
Концентрация класса -0,63 +0,14 мм					
I концентрат	8,49	3,55	18,00	71,87	25,40
II концентрат	1,15	0,48	8,00	4,33	1,53
Промпродукт	7,51	3,14	1,00	3,54	1,25
Хвосты	82,85	34,65	0,52	20,26	7,16
Итого кл. -0,63 +0,14 мм	100,00	41,82	2,13	100,00	35,34
Концентрация продуктов, класс -2 +0,63 мм и -0,63 +0,14 мм, измельченных до 0,25 мм					
I концентрат	3,04	0,37	12,20	29,73	1,79
II концентрат	4,02	0,49	7,00	22,59	1,36
Промпродукт	3,44	0,42	2,60	7,31	0,44
Хвосты	89,50	10,91	0,56	40,37	2,43
Итого прод. -2 +0,14 мм	100,00	12,19	1,24	100,00	6,02
Концентрация класс -0,14 +0,74 мм					
I концентрат	8,76	0,72	54,00	76,12	15,46
II концентрат	1,82	0,15	15,60	4,58	0,93
Промпродукт	2,19	0,18	7,00	2,46	0,50
Хвосты	87,23	7,17	1,20	16,84	3,42
Итого кл.-0,14 +0,74 мм	100	8,22	6,21	100,00	20,31
Классификация в гидроциклоне класса -0,074 мм					
Пески	76,94	7,88	4,90	81,17	15,35
Слив	23,06	2,36	3,80	18,83	3,56
Итого класс -0,074 мм	100,00	10,24	4,65	100,00	18,91
Концентрация песков гидроциклона					
I концентрат	6,27	0,49	59,60	75,63	11,61
II концентрат	1,47	0,12	8,30	2,61	0,40
Промпродукт	2,97	0,23	5,27	3,13	0,48
Хвосты	89,31	7,04	1,02	18,63	2,86
Итого пески гидроц.	100,00	7,88		100,00	15,35

Таблица 3. Результаты опытов по флотационному выделению сульфидов из руды

Продукты	Выход, %		Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %	
	от операц.	от исх.		от операц.	от исх.
Флотация сульфидов и промпродуктов гравитации					
I концентрат	22,89	0,19	12,00	64,78	0,92
II концентрат	7,23	0,06	10,50	17,61	0,25
Итого концентрат	30,12	0,25	11,77	82,39	1,17
Хвосты	69,88	0,58	1,08	17,61	0,25
Итого продукт гравит.	100,00	0,83	4,19	100,00	1,42
Флотация сульфидов из класса -0,74 мм					
I концентрат	8,34	0,85	48,40	85,62	16,19
II концентрат	2,59	0,27	6,40	3,60	0,68

Хвосты	89,07	9,12	0,56	10,78	2,04
Итого класс -0,74 мм	100,00	10,24	4,65	100,00	18,91

Самый крупный класс (-2 +0,63 мм) обогащается не эффективно, на столе нет четкой границы между концентратом и хвостами, поэтому приходится набирать большое количество промпродукта, выход которого составил 22,8 % от класса или 9 % от исходной пробы. Концентрат из этого класса крупности получается бедный, содержание золота в нем 14 г/т, извлечение от массы 35,9 %, от исходной пробы – 9,1%. Из-за плохого раскрытия сульфидов в классе +0,63 мм значительное количество золота переходит в промпродукт 18,7 % и хвосты – 45,4 % от класса или 4,8 и 11,5 %, соответственно, от исходной пробы.

Класс -0,63 +0,14 мм обогащается более эффективно, на столе наблюдается четкая граница разделения, что позволяет набирать меньше промпродукта и больше концентрата и хвостов по сравнению с предыдущим классом. При обогащении этого класса на столе с одной перечисткой промпродукта выделено два концентрата: I концентрат с содержанием золота 18 г/т при извлечении 71,9% от класса и 25,4 % от руды, и II концентрат с содержанием золота 8 г/т при извлечении 4,3 % от класса и 1,5% - от руды. Выход промпродукта составил 7,5 % от операции или 3,1 % от исходной пробы. При обогащении этого класса получились самые бедные хвосты с содержанием золота 0,52 г/т, потери золота с хвостами составили 20 % от операции или 7,2 % от исходной пробы.

Промпродукты крупностью -2 +0,63 мм и -0,63 +0,14 мм доизмельчались до крупности -0,25 мм и обогащались на столе с четырьмя перечистками промпродуктов. Большое количество перечисток связано с тем, что дальнейшее измельчение промпродукта не предполагалось. В производственных условиях промпродукт в таких случаях заворачивают на предыдущую операцию и, таким образом, в лабораторных условиях это достигается большим количеством перечисток, в нашем случае проведено четыре перечистки. По внешнему виду концентрат разделен на богатый - I концентрат с содержанием золота 12,2 г/т при извлечении от операции 29,7 %, от исходной пробы – 1,8%, и бедный II концентрат с содержанием золота 7 г/т при извлечении от операции 22,60 %, от исходной пробы – 1,3 %. Потери золота с хвостами промпродуктового цикла составили 2,4 % от исходной пробы. Из промпродукта, полученного при обогащении, доизмельченных промпродуктов, сульфиды выделены флотацией совместно с другими промпродуктами.

Класс крупностью -0,14 +0,74 мм обогащался на концентрационном столе с четырьмя перечистками промпродуктов с доработкой основного промпродукта флотацией. При обогащении этого класса получены более богатые концентраты, чем при обогащении крупных классов. Возможно, это связано с лучшим раскрытием сульфидов.

Содержание золота в I концентрате составило 54 г/т при извлечении от класса 76,1 %, от исходной пробы – 15,5 %. Содержание золота во II концентрате – 15,6 г/т, при извлечении от класса 4,6 %, а от исходной пробы – 0,9 %. Содержание золота в хвостах составило 1,2 г/т. Потери с хвостами от класса 16,8%, от исходной пробы – 3,4 %.

Класс крупности -0,074 мм обогащался по двум вариантам: гравитацией и флотацией.

Результаты, полученные по гравитации и флотации, нужно суммировать. В таблицах 2 и 3 результаты приведены раздельно, т.е. если бы класс -0,074 мм обогащался полностью гравитацией или флотацией.

Перед обогащением класса -0,074 мм на концентрационном столе из него были удалены тонкие шламы классификацией в гидроциклоне, поскольку тонкие шламы обогащаются на столе не эффективно и мешают разделению. Содержание золота в сливе гидроциклона составило 3,8 г/т, потери со сливом составили 18,8% от питания гидроциклона или 3,6 % от исходной пробы. Выход песков, которые обогащались на столе составил 77 % от питания гидроциклона или 7,9 % от исходной пробы. Обогащение проводилось с четырьмя перечистками промпродуктов, последний промпродукт направлялся на флотацию. При обогащении класса -0,074 мм получен богатый концентрат с содержанием золота 59,6 г/т, с извлечением от класса 61,4 % или 11,6 % от исходной пробы и бедный концентрат с содержанием золота 8,3 г/т и извлечением 2,1 % от класса или 0,4 % от исходной пробы. Потери золота с хвостами составили 15,1 % от класса или 2,9 % - от руды. Из промпродуктов крупностью -0,25 мм, -0,14 +0,074 и -0,074 мм сульфиды дополнительно выделены флотацией, при этом получен концентрат с содержанием золота 11,77 г/т и извлечением от исходной пробы 1,17 %.

По флотационному варианту руда – 0,074 мм обогащались без классификации. При флотации образуется пена, и часть продукта флотируется без реагентов. В полученном без реагентов пенном продукте содержится большое количество кварца, но при этом большая часть сульфидов остается в камерном продукте. Для флотации оставшихся сульфидов во флотацию подавался бутиловый ксантогенат калия в количестве 40 г/т питания флотации и вспениватель Т-80 – 10 г/т. Концентраты, полученные при флотации без реагентов и с реагентами, объединялись и перечищались без реагентов два раза. Хвосты I перечистки, содержащие незначительное количество сульфидов, объединены с хвостами флотации. При флотации получен концентрат с содержанием золота 48,4 г/т при извлечении 85,6 % от операции или 16,2 % от исходной пробы, и бедный концентрат с содержанием 6,4 г/т и извлечением от

операции 3,6 % и от исходного 0,7 %. Потери с хвостами при обогащении флотацией составили 2 %. Таким образом, при обогащении класса -0,074 мм флотацией получен более бедный концентрат по сравнению с гравитацией, но извлечение золота выше 4,6 % от руды или на 21,2 % - от класса.

Суммарные результаты обогащения приведены в таблице 4.

Таблица 4. Суммарные результаты обогащения руды месторождения «Богунай»

Продукты	Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
I концентрат, в т.ч.	7,07	23,45	65,90
-2 +0,63 мм	1,64	14,00	9,13
-0,63 +0,14 мм	3,55	18,00	25,40
-0,14 +0,074 мм	0,72	54,00	15,46
-0,074 мм (гравитационный)	0,31	59,60	7,35
-0,074 мм (флотационный)	0,31	48,40	5,96
от доработки промпродуктов гравитацией	0,37	12,20	1,79
от доработки промпродуктов флотацией	0,17	12,00	0,81
II концентрат, в т.ч.:	1,34	8,48	4,51
-0,63 +0,14 мм	0,48	8,00	1,53
-0,14 +0,074 мм	0,15	15,60	0,93
-0,074 мм (гравитационный)	0,07	8,30	0,23
-0,074 мм (флотационный)	0,10	6,40	0,25
от доработки промпродуктов гравитацией	0,49	7,00	1,36
от доработки промпродуктов флотацией	0,05	10,50	0,21
Хвосты, в т.ч.	91,59	0,81	29,59
-2 +0,63 мм	29,03	1,00	11,54
-0,63 +0,14 мм	34,65	0,52	7,16
-0,14 +0,074 мм	7,17	1,20	3,42
-0,074 мм (гравитационный)	4,45	1,02	1,81
-0,074 мм (флотационный)	3,36	0,56	0,75
от доработки промпродуктов гравитацией	10,91	0,56	2,43
от доработки промпродуктов флотацией	0,53	1,08	0,23
Слив гидроциклона	1,49	3,80	2,25

Богатые концентраты получены только от обогащения классов -0,14 +0,074 мм. Среднее содержание золота в богатом концентрате 54 г/т выход его 1,3 %, извлечение от руды 28,8 %. При обогащении крупных классов и при доводке промпродуктов получают только бедные концентраты суммарный выход таких концентратов 7,07 %, содержание золота в них 14,8 г/т при извлечении от руды – 41,6 %.

Показано, что при обогащении руды крупностью +0,14 мм получают только бедные концентраты с содержанием золота 14-18 г/т при этом извлечение золота от класса при крупности -2 +0,63 мм составило всего 35,9 %, большие потери с хвостами и промпродуктами объясняются как низким содержанием золота в этом классе 1,61 г/т, так и недостаточным раскрытием сульфидов. При обогащении класса -0,63 +0,14 мм операционное извлечение золота возрастает до 71,9 %.

Богатые концентраты с содержанием золота в среднем 54 г/т получены при обогащении руды крупностью -0,14 +0,74 мм 76,1 % при гравитационном обогащении и 85,6 % - при флотационном.

Заключение

Всего при обогащении руды получены богатый концентрат с содержанием золота 54 г/т при извлечении от руды 28,8 %, выход его составил 1,34 % и бедный концентрат с содержанием 14,8 г/т при извлечении от руды 41,6 %, с выходом 7,07 %. Выход хвостов составил 91,6 %, содержание в них золота 0,81 г/т, потери золота с хвостами 29,6 %.

Список литературы / References

1. 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.
2. Бочаров В.А. Технология золотосодержащих руд / В.А. Бочаров, Д.В. Абрютин. М: «МИСиС», 2011. 419 с.