

Тусупбаев Н.К., Нарбекова С.М., Семушкина Л.В., Калдыбаева Ж.А.

**ТУРБОФЛОТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА КОЛДОНУУ МЕНЕН
АЛТЫН КАМТЫГАН ЧИЙКИ ЗАТТЫ БАЙЫТУУ**

Тусупбаев Н.К., Нарбекова С.М., Семушкина Л.В., Калдыбаева Ж.А.

**ОБОГАЩЕНИЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ТУРБОФЛОТАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ**

N.K. Tusupbaev, S.M. Narbekova, L.V. Semushkina, Zh.A. Kaldybayeva

**ENRICHMENT OF GOLD-CONTAINING RAW MATERIALS WITH
THE USE OF TURBOFLOTATION EQUIPMENT**

УДК: 622.765

Кендерди байытуунун алдында, минералдык чийки затты майдалоо процессинде отуз микрон кем көбүкчөлөрү пайда болот. Өлчөмү ошондой пайдалуу минералдардын көп бөлүгү байытуу калдыктары менен жоголуп жатат. Лабораторияда, флотациялык байытуу натыйжаларына микрокөбүкчөлөрдүн таасирин изилдөө үчүн, Васильков алтын кенин жана калдыктарын байытуу изилдөөлөр жүргүзүлгөн. Кендеги алтындын баштапкы өлчөмү 2,3 г/т. Флотациялык калдыкта өлчөмү 0,68 г/т. Кендин флотация схемасына майдалоо эки стадиясы, цикл аралык флотация, негизги байытуу, контролдук байытуу жана тазартуу процесси кирет. Микрокөбүкчөлөрдүн булагы, суу-аба микроэмульсия беретун генератор Васильков кенин флотациялык байытуу учурунда алтын чыгарууну 3,72% жогорулатууга мүмкүндүк берет, концентраттын сапатын 0,99 г/т төмөндөйт. Ал флотация калдыктарында алтындын өлчөмү 0,41 г/т - ден 0,31 г/т чейин төмөндөйт. Флотациялык калдыктарын байытуу схемасына кайталап майдалоо, негизги байытуу, контролдук байытуу жана эки тазартуу процесси кирет. Изилдөөлөр флотация кинетикасын текшерүү менен ишке ашырылган. Васильков флотациялык калдыктарын байытуу учурунда суу-аба микроэмульсия беретун генератор алтын чыгарууну 10,72% жогорулатууга, флотация убактысын 20-25% кыскартууга, флотациялык жараксыз калдыктарында алтындын өлчөмүн 0,15 г/т - тен 0,1 г/т чейин төмөндөтүүгө мүмкүндүк берет.

Негизги сөздөр: байытуу, кен, калдыктар, флотация, флотореагент, микроэмульсия, микрокөбүкчөлөр.

В процессе измельчения исходного минерального сырья перед процессом обогащения образуется большое количество частиц менее тридцати микрон. Большая часть полезных минералов такой крупности теряется с хвостами обогащения. Проведены лабораторные исследования влияния микропузырьков на эффективность флотационного обогащения золотосодержащей руды Васильковского месторождения и хвостов обогащения того же месторождения. Исходное содержание золота в руде составляло 2,3 г/т. В хвостах флотации – 0,68 г/т. Схема флотации руды включала двухстадийное измельчение, межцикловую флотацию, основную флотацию, контрольную и переливную флотации. Использование генератора водо-воздушной микроэмульсии, как источника микропузырьков, при

флотации руды Васильковского месторождения позволяет повысить извлечение золота на 3,72% при небольшом снижении качества концентрата на 0,99 г/т. При этом содержание золота в хвостах снижается с 0,41 до 0,31 г/т. Схема флотации хвостов Васильковского месторождения включала доизмельчение хвостов, основную, контрольную флотации и две переливные концентрата. Исследования проведены с изучением кинетики флотации. Применение генератора водо-воздушной микроэмульсии при флотации хвостов Васильковского месторождения позволяет повысить извлечение золота на 10,72%, сократить время флотации на 20-25% и уменьшить содержание золота в отвальных хвостах флотации с 0,15 до 0,1 г/т.

Ключевые слова: обогащение, руда, хвосты, флотация, флотореагент, микроэмульсия, микропузырьки.

In the process of grinding the source of mineral raw materials before the enrichment process, a large number of particles less than thirty microns are formed. Most of the minerals of this size are lost to the tailings. Laboratory studies of the effect of microbubbles on the efficiency of flotation concentration of gold ore from the Vasilkovsky deposit and tailings from the same deposit were carried out. The initial gold content in the ore was 2.3 g/t. In flotation tailings - 0.68 g/t. The ore flotation scheme included two-stage grinding, inter-cycle flotation, main flotation, control and clean-up flotation. The use of a generator of a water-air microemulsion as a source of microbubbles during the flotation of the ore of the Vasilkovsky deposit allows an increase in gold recovery by 3.72% with a slight decrease in the quality of the concentrate by 0.99 g/t. At the same time, the gold content in tailings decreases from 0.41 to 0.31 g/t. The flotation scheme of tailings of the Vasilkovsky field included the regrinding of tailings, the main, control flotation and two refining of concentrate. Studies conducted with the study of the flotation kinetics. The use of a generator of a water-air microemulsion during flotation of the tails of the Vasilkovsky field allows you to increase gold recovery by 10.72%, reduce the flotation time by 20-25% and reduce the gold content in the flotation tailings from 0.15 to 0.1 g/t.

Key words: enrichment, ore, tailings, flotation, flotation agent, microemulsion, microbubbles.

Введение. В процессе измельчения исходного минерального сырья перед процессом обогащения

образуется большое количество частиц менее тридцати микрон. Большая часть полезных минералов такой крупности теряется с хвостами обогащения. На тонкие классы, флотация которых малоэффективна, приходится до 30% потерь цветных, редких, рассеянных и благородных металлов в обогатительном переделе. Для решения этой проблемы многими учеными ведется поиск более селективных флотореагентов, улучшающих технологические показатели процесса флотации [1-5].

Также для повышения эффективности флотации тонких частиц ведутся исследования в направлении применения в процессе флотации микропузырьков воздуха. В последние годы были опубликованы результаты исследований [6-9], которые свидетельствуют о том, что использование микропузырьков позволяет существенно интенсифицировать флотацию не только мелких частиц менее 30 мкм, но и крупных частиц, размер которых превышает 100 мкм.

В опубликованных исследованиях [10-11] теоретически и экспериментально показано, что микропузырьки играют роль флотационных носителей, которые собирают на своей поверхности мелкие частицы, а затем флотируются крупными пузырьками.

Методы исследований: рентгенофазовый анализ (дифрактометр Advance), химический, рентгенофлюоресцентный анализ (спектрометр Venus 200 RA Nalyical B.V.), флотация (флотомшины ФЛ-290, ФМ-1, ФМ-2).

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. Проведены лабораторные исследования влияния микропузырьков на эффективность флотационного обогащения золотосодержащей руды Васильковского месторождения и хвостов обогащения того же месторождения. Исходное содержание золота в руде составляло 2,3 г/т, в хвостах флотации – 0,68 г/т. Схема флотации руды изображена на рисунке 1.

Схема включала двухстадийное измельчение, межцикловую флотацию, основную флотацию, контрольную и перечистную флотации. Первая стадия измельчения перед межцикловой флотацией составляла 87% класса -0,071 мм, вторая стадия измельчения перед основной флотацией составляла 92,5% класса - 0,071 мм. Время операций флотации представлено на рисунке 1. В качестве реагентов применяли соду, как регулятор среды до pH 8,5-8,8; собиратель - ксантогенат амилловый (расход 100 г/т); аэрофлот БТФ (расход 25 г/т); пенообразователь флотанол С-7 (расход 15 г/т).

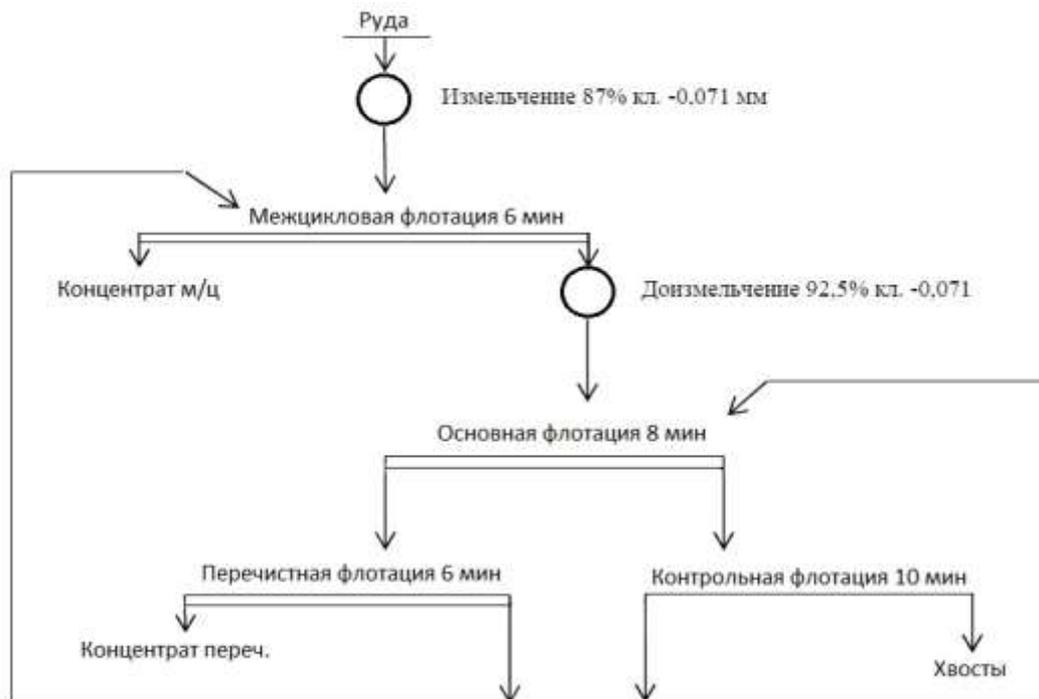


Рис. 1. Схема флотационного обогащения золотосодержащей руды месторождения Васильковское.

Для подачи микропузырьков во флотокамеру использовался генератор водо-воздушной микроэмульсии. Микропузырьки (размером менее 50 мкм) подавались в камеру флотомашин с выхода генератора в виде водо-воздушной микроэмульсии реагента по узкой ПВХ - трубке. Эмульсия подавалась к всасывающему отверстию статора импеллера. Для получения водо-воздушной микроэмульсии использовалась смесь 0,025 %-ных растворов аэрофлота БТФ и пенообразователя С-7. Результаты флотации приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты флотации руды Васильковского месторождения без использования и с использованием генератора водо-воздушной микроэмульсии

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %	Примечание
К-т м/ц флот.	15,65	11,64	81,27	Базовый реагентный режим: рН-8,5-8,8; Кх (амил) – 100 г/т; БТФ - 25 г/т; С-7- 15 г/т Без генератора водо-воздушной микроэмульсии
К-т переч. флот.	0,80	9,61	3,44	
Общий к-т	16,45	11,54	84,71	
Хвосты отв.	83,55	0,41	15,29	
Руда	100,00	2,24	100,00	
К-т м/ц флот.	17,37	10,42	82,74	Применение генератора в контрольном цикле флотации
К-т переч. флот.	0,96	13,00	5,69	
Общий к-т	18,33	10,55	88,43	
Хвосты отв.	81,67	0,31	11,57	
Руда	100,00	2,19	100,00	
К-т м/ц флот.	17,51	9,64	81,59	Применение генератора в основном и контрольном цикле флотации
К-т переч. флот.	1,26	12,85	7,81	
Общий к-т	18,77	9,86	89,40	
Хвосты отв.	81,23	0,27	10,60	
Руда	100,00	2,07	100,00	

Использование генератора водо-воздушной микроэмульсии в контрольной флотации при базовом расходе реагентов позволяет повысить извлечение золота на 3,72% при небольшом снижении качества концентрата на 0,99 г/т. При этом содержание золота в хвостах снижается с 0,41 до 0,31 г/т. При использовании генератора в основном и контрольном цикле флотации извлечение золота повышается на 4,69% при снижении качества концентрата на 1,68 г/т. При этом содержание золота в хвостах снижается с 0,41 до 0,27 г/т.

Проведены исследования по изучению влияния генератора водо-воздушной микроэмульсии на доизвлечение золота из фабричных золотосодержащих хвостов флотационного обогащения руды Васильковского месторождения. По результатам рентгено-фазового анализа в хвостах флотационного обогащения руды Васильковского месторождения содержится 40,2% кварца, 12,5% микроклина, 24,2% клинохлора (серафинит), 12,4% тремолита, 5,6% альбита, 2,3% мусковита, 2,8% кальцита. Химический анализ пока-

зал, что в пробе исследуемых исходных хвостов содержится 0,623 г/т золота; 4,18% железа. Проведен рациональный анализ хвостов на золото, по результатам которого 38,47% золота находится в трудноизвлекаемой форме с кварцем.

Схема флотации включала доизмельчение хвостов, основную, контрольную флотации и две очистки концентрата.

Исследования проведены с изучением кинетики флотации. В таблице 2 представлены результаты кинетики флотации пробы хвостов Васильковского месторождения в базовом режиме и с применением генератора водо-воздушной микроэмульсии. Кинетика флотации проводилась в следующем режиме: в основной флотации – 5 операций по 2 мин.; в контрольной флотации – 5 операций по 2 мин.

Из данных по кинетике флотации, представленных в таблице 2 следует, что применение генератора водо-воздушной микроэмульсии при флотации хвостов Васильковского месторождения позволяет ускорить процесс флотации золота, а также уменьшить содержание золота в хвостах флотации.

Таблица 2

Результаты кинетики флотации пробы хвостов Васильковского месторождения в базовом режиме и с применением генератора водо-воздушной микроэмульсии

Наименование продуктов	Выход, %			Содержание Au, г/т		Извлечение Au, %		Примечание
	г	част.	сумм.	част.	сумм.	част.	сумм.	
Конц-т 1'	15,80	1,63	1,63	8,80	8,80	20,53	20,53	Кинетика хвостов флотации, базовый режим
Конц-т 2'	14,30	1,47	3,10	7,10	7,99	14,99	35,51	
Конц-т 3'	13,70	1,41	4,51	6,80	7,62	13,75	49,27	
Конц-т 4'	13,50	1,39	5,90	4,80	6,96	9,57	58,83	
Конц-т 5'	15,10	1,55	7,45	4,10	6,36	9,14	67,97	
Конц-т 6'	23,40	2,41	9,86	1,90	5,27	6,56	74,53	
Конц-т 7'	30,80	3,17	13,03	1,10	4,26	5,00	79,54	
Конц-т 8'	45,10	4,64	17,67	0,30	3,22	2,00	81,53	
Конц-т 9'	48,20	4,96	22,63	0,20	2,56	1,42	82,96	
Конц-т 10'	53,70	5,53	28,16	0,20	2,09	1,59	84,54	
Хвосты отв.	698,1	71,84	71,84	0,15	0,15	15,46	15,46	Кинетика хвостов флотации, с применением генератора водо-воздушной микроэмульсии
Исход. хвос.	971,7	100,0		0,70		100,00		
Конц-т 1'	26,30	2,67	2,67	7,60	7,60	29,81	29,81	
Конц-т 2'	22,40	2,27	4,94	6,10	6,91	20,38	50,19	
Конц-т 3'	20,80	2,11	7,05	5,20	6,40	16,13	66,32	
Конц-т 4'	22,90	2,32	9,37	3,20	5,61	10,93	77,24	
Конц-т 5'	24,80	2,51	11,88	1,10	4,65	4,07	81,31	
Конц-т 6'	32,50	3,29	15,18	0,52	3,76	2,52	83,83	
Конц-т 7'	37,10	3,76	18,94	0,42	3,09	2,32	86,16	
Конц-т 8'	38,30	3,88	22,82	0,25	2,61	1,43	87,59	
Конц-т 9'	27,90	2,83	25,65	0,23	2,35	0,96	88,54	
Конц-т 10'	34,90	3,54	29,19	0,20	2,09	1,04	89,58	
Хвосты отв.	698,5	70,81	70,81	0,10	0,10	10,42	10,42	
Исход. хвос.	986,4	100,0		0,68		100,00		

Отработаны оптимальные базовые условия флотации хвостов: степень доизмельчения 95% класса - 0,074 мм, расход амилowego ксантогената 60 г/т, расход БТФ 10 г/т, расход пенообразователя Т-92 10 г/т. При выбранном реагентном режиме получен золотосодержащий концентрат, содержащий 6,8 г/т золота при извлечении 50,08%. С применением генератора водо-воздушной микроэмульсии получен золотосодержащий концентрат, содержащий 6,4 г/т золота при извлечении 60,8%. Применение генератора водо-воздушной микроэмульсии позволяет, по сравнению с базовым режимом, повысить извлечение золота на 10,72%, сократить время флотации на 20-25% и уменьшить содержание золота в отвальных хвостах флотации с 0,15 до 0,1 г/т.

Выводы. Таким образом, на основе проведенных исследований показано положительное действие микроэмульсии флотореагента, полученной в генераторе водо-воздушной микроэмульсии, на показателе обогащения золотосодержащей руды Васильковского месторождения и хвостов обогащения этого же месторождения.

Использование генератора водо-воздушной микроэмульсии при флотации руды Васильковского месторождения позволяет повысить извлечение золота на

3,72% при небольшом снижении качества концентрата на 0,99 г/т. При этом содержание золота в хвостах снижается с 0,41 до 0,31 г/т.

Применение генератора водо-воздушной микроэмульсии при флотации хвостов Васильковского месторождения позволяет повысить извлечение золота на 10,72%, сократить время флотации на 20-25% и уменьшить содержание золота в отвальных хвостах флотации с 0,15 до 0,1 г/т.

Литература:

1. Рябой В.И. Проблемы использования и разработки новых флотореагентов в России // Цветные металлы. - 2011. - №3. - С. 7-14.
2. Semushkina L., Kenzhaliyev B., Turisbekov D., Tussupbayev N., Narbekova S. About a possibility of processing of technogenic waste with use of the new equipment and flotoreagent // Materials 17th SGEM International Scientific Multidisciplinary Conference. - Vienna, Austria, 2017. - P.3-9.
3. Tussupbayev N., Semushkina L., Turysbekov D., Bekturganov N., Muhamedilova A. Modified reagents using for flotation tailings recycling // Complex Use of Mineral Resources (Комплексное использование минерального сырья). - 2017. - №1. - С. 78-82.
4. Муханова А.А., Тусупбаев Н.К., Мейманова Ж.С., Алмакучукова Г.М. Модифицированные флотореагенты для ин-

- тенсификации флотации полиметаллической руды Артемьевского месторождения // Известия ВУЗов Кыргызстана. - 2017.- №3. - С.14-18.
5. Муханова А.А., Модифицированные флотореагенты для интенсификации флотации полиметаллической руды Артемьевского месторождения // Известия вузов Кыргызстана. - 2017. - №3.- С.10-13.
6. Ahmadi R., Khodadadi D.A., Abdollahy M. and Fan M. Nanobubble flotation of fine and ultrafine chalcopyrite particles //International Journal of Mining Science and Technology.- 2014. - V.24. - P.559-566.
7. Fan M., Tao D., Honaker R. and Luo Z. Nanobubble generation and its applications in froth flotation (part II): fundamental study and theoretical analysis // Mining Science and Technology.- 2010. - V.20. - P. 0159-0177.
8. Fan M., Tao D., Honaker R. and Luo Z. Nanobubble generation and its applications in froth flotation (part IV): mechanical cells and specially designed column flotation of coal // Mining Science and Technology.- 2010.-V.20.- P.0641-0671.
9. Calgaroto S., Azevedo A. and Rubio J. Flotation of quartz particles assisted by nanobubbles // International Journal of Mineral Processing.- 2015.- V.137.- P.64-70.
10. Рулев Н.Н., Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М. «Комбинированная микрофлотация тонкодисперсных минералов» // Цветные металлы. - 2017.- №9. - С. 14-20.
11. Rulyov N.N., Tussupbayev N.K. and Kravtchenko O.V. Combined Microflotation of Fine Quartz //Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min. Metall. C).- 2015.- V.124. - P.217-233.