

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

МАТЕРИАЛДАРЫ

МАТЕРИАЛЫ

**Международной научно-практической конференции
«Эффективные технологии производства цветных, редких и
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,
члена-корреспондента Академии наук РК,
лауреата Государственной премии Республики Казахстан
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

PROCEEDINGS

**of International scientific and practical conference
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy
science and industry concerns and in memory of well-known scientist
of metallurgy, Associate Member of the National Academy
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

Алматы 2018

УДК 669
ББК 34.3
Э94

Ответственный редактор: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

Жауапты редактор: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

Редакционный совет: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

Редакциялық алқа: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»: Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»: Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

ISBN 978-601-323-132-7

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

УДК 669
ББК 34.3

ISBN 978-601-323-132-7

© АО «ИМиО», 2018

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ МИКРОФЛОТАЦИИ НА ОБОГАЩЕНИЕ ЗОЛОСОДЕРЖАЮЩЕЙ РУДЫ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.10>

*Семушкина Л.В.^{1,2}, Турысбеков Д.К.¹, Нарбекова С.М.¹,
ORCID: 0000-0001-8925-5250 0000-0003-0904-1565 0000-0002-7325-754X

Калдыбаева Ж.А.¹, Мухамедилова А.М.¹

¹АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан, *syomushkina.lara@mail.ru;

²НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан

Аннотация. В работе представлены результаты лабораторных исследований влияния микропузырьков на процесс флотационного обогащения золотосодержащей руды Васильковского месторождения. Содержание золота в руде составляло 2,2 г/т. Установлено, что введение в пульпу на стадии контрольной флотации даже небольшого количества микропузырьков, размер которых не превышает 50 мкм, приводит к существенному увеличению извлечения золота. Использование генератора водо-воздушной микроэмульсии в контрольной флотации при базовом расходе реагентов позволяет повысить извлечение золота на 3,72 % при незначительном снижении качества концентрата - на 0,99 г/т. Содержание золота в отвальных хвостах снижается с 0,41 г/т до 0,31 г/т. При использовании генератора в контрольном цикле флотации при увеличенном расходе реагентов извлечение золота повышается на 4,69 % при снижении качества концентрата на 1,68 г/т. Содержание золота в отвальных хвостах снижается с 0,41 г/т до 0,27 г/т.

В процессе измельчения исходного сырья, с целью раскрытия минералов и отделения их друг от друга, образуется большое количество частиц существенно меньше 30-ти мкм. Значительная часть ценного компонента такой крупности теряется в хвостах обогащения. Одним из решений этой проблемы может быть применение в процессе флотации пузырьков воздуха, размер которых не превышает 50 мкм, которые в силу высокой флотационной активности будут играть роль флотоносителей, связывающих микрочастицы ценного минерала с большими пузырьками, генерируемыми самой флотомашинной, что позволит более полно извлекать тонкодисперсные шламовые ценные минералы. Предлагается применение флотации с использованием микропузырьков, получаемых в генераторе водо-воздушной микроэмульсии.

В последние годы были опубликованы результаты исследований [1-4], которые свидетельствуют о том, что использование, наряду с крупными пузырьками, микро- и нанопузырьков позволяет существенно интенсифицировать флотацию крупных частиц, размер которых превышает 100 мкм. Известно [5-9], что флотируемость частиц очень резко падает с увеличением их размеров и плотности, а также с ростом диаметра, а, следовательно, скорости всплывания пузырька. Как показано в [10], основным фактором, снижающим эффективность захвата крупных частиц крупным пузырьком, является высокая энергия их столкновения.

Проведены лабораторные исследования влияния микропузырьков на эффективность флотационного обогащения относительно крупнодисперсной золотосодержащей руды Васильковского месторождения, крупность помола которой составляла 92,5% класса -71 мкм. Исходное содержание золота в руде составляло 2,2 г/т. Флотационные эксперименты проводились на лабораторной флотационной камере объемом 3 литра и размерами поперечного сечения 120x120 мм. В качестве источника микропузырьков использовался генератор водо-воздушной микродисперсии «СЕББА-0.1», представленный в [15, 16]. Микропузырьки (размером менее 50 мкм) подавались в ячейку с выхода генератора в виде концентрированной (60 об. %) дисперсии воздуха в растворе реагентов по узкой ПВХ- трубке. Во всех экспериментах использовалась суспензия руды в водопроводной воде, объем которой составлял 3л, масса навески руды -1 кг. Опыты проводились в замкнутом цикле.

Схема флотации, показанная на рисунке 1, включала двухстадийное измельчение, межцикловую флотацию (6 мин.), основную флотацию (8 мин.), контрольную (10 мин.) и перечистную флотации (6 мин.). 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. Для достижения устойчивого разосигнования возвращаемых продуктов в опыте использовали 8 навесок руды по 1 кг.

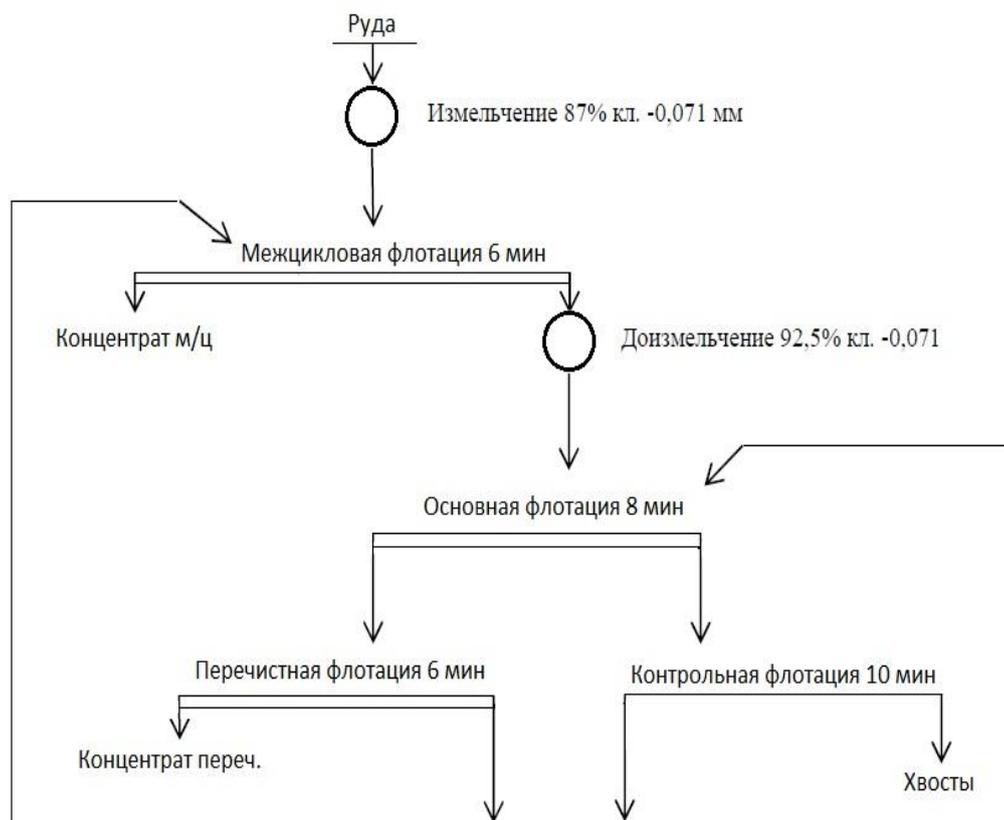


Рисунок 1 – Технологическая схема флотационного обогащения золотосодержащей руды Васильковского месторождения

Суммарные расходы применяемых реагентов:

Регулятор среды: сода – до pH 8,5-8,8. Собиратель: ксантогенат амиловый «Senmin» (ЮАР) – 98 г/т; Аэрофлот БТФ-163 – 24,5 г/т. Вспениватель: флотанол С-7 – 15,5 г/т.

После измельчения в шаровой мельнице и корректировки pH (путем добавления соды) на уровне 8,5-8,8, минеральная суспензия помещалась во флотационную камеру, после чего в нее добавлялись амиловый ксантогенат, аэрофлот и вспениватель. Минеральная суспензия подвергалась перемешиванию в течение 1 минуты без подачи воздуха при скорости вращения ротора 1500 об/мин. После подачи атмосферного воздуха (3,3 л/мин) проводилась флотационная обработка пульпы согласно применяемой схеме обогащения. Перечистная флотация проводилась без добавления реагентов. На стадии контрольной флотации в пульпу, перед подачей атмосферного воздуха, течении нескольких секунд вводилось дозированное количество водо-воздушной микродисперсии, вырабатываемой генератором. Для формирования дисперсии использовалась смесь 0,025 %-ных растворов аэрофлота БТФ-163 и вспенивателя С-7.

Подача водо-воздушной микродисперсии с выхода генератора во флотационную камеру осуществлялась по узкой ПВХ-трубке (внутренний Ø 1,8 мм) непосредственно к всасывающему отверстию статора импеллера. Оптимальный уровень пульпы во флотокамере поддерживался вручную путем добавления воды в процессе флотации. После завершения подачи микропузырьков включалась подача атмосферного воздуха (3,3 л/мин) и минеральная суспензия подвергалась флотационной обработке при скорости вращения ротора 1500 об/мин. Отбор пенного продукта осуществлялся вручную с помощью скребка из нержавеющей стали порциями.

По завершении процесса хвосты контрольной флотации высушивались, взвешивались и анализировались на содержание золота. Результаты опытов и реагентные режимы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты укрупненных лабораторных опытов по флотационному обогащению пробы руды Васильковского месторождения без использования и с использованием генератора водо-воздушной микродисперсии.

Наименование материала	У, %	Ау, г/т	Е, %	Э	К	Примечание
<i>Базовый/фабричный режим</i>						
К-т м/ц флот.	15,65	11,64	81,27			Базовый реагентный режим: рН-8,5-8,8; Кх (амил) – 98 г/т; БТФ-163-24 г/т; С-7 – 18 г/т. См. рис. 2.
К-т переч. флот.	0,80	9,61	3,44			
<i>Общий к-т</i>	<i>16,45</i>	<i>11,54</i>	<i>84,71</i>	<i>69,83</i>	<i>5,15</i>	
Хвосты отв.	83,55	0,41	15,29			
Руда	100,00	2,24	100,00			
<i>Применение генератора в контрольном цикле флотации, при базовом расходе реагентов</i>						
К-т м/ц флот	17,37	10,42	82,74			Реагентный режим: рН-8,5-8,8; Кх (амил) – 98 г/т; БТФ-163-24,5 г/т; С-7 – 15,5 г/т. Подача смеси БТФ-163+С-7 осуществлялась через генератор «СЕББА-0.1»
К-т переч. флот.	0,96	13,00	5,69			
<i>Общий к-т</i>	<i>18,33</i>	<i>10,55</i>	<i>88,43</i>	<i>71,67</i>	<i>4,82</i>	
Хвосты отв.	81,67	0,31	11,57			
Руда	100,00	2,19	100,00			
<i>Применение генератора в контрольном цикле флотации, при увеличенном расходе реагентов</i>						
К-т м/ц флот	17,51	9,64	81,59			Реагентный режим: рН-8,5-8,8; Кх (амил) – 98 г/т; БТФ-163-27,0 г/т; С-7 – 18,0 г/т. Подача смеси БТФ-163+С-7 осуществлялась через генератор «СЕББА-0.1»
К-т переч. флот.	1,26	12,85	7,81			
<i>Общий к-т</i>	<i>18,77</i>	<i>9,86</i>	<i>89,40</i>	<i>72,12</i>	<i>4,76</i>	
Хвосты отв.	81,23	0,27	10,60			
Руда	100,00	2,07	100,00			

Из результатов флотационных опытов в замкнутом цикле (таблица 1) следует:

1. По стандартному режиму (Кх (амил) -98 г/т; БТФ-163-24 г/т; С-7- 18 г/т) без использования генератора, получен золотосодержащий концентрат с содержанием золота 11,54 г/т при извлечении 84,71 %. Эффективность обогащения (Э) составила 69,83 %, степень концентрации (К) золота 5,15 ед.

2. С применением генератора в контрольной флотации при базовом реагентном режиме (Кх (амил) – 98 г/т; БТФ-163-24,5 г/т; С-7 – 15,5 г/т), получен золотосодержащий концентрат с содержанием золота 10,55 г/т при извлечении 88,43 %. Эффективность обогащения составила 71,67 %, коэффициент концентрации 4,82 ед.

3. С применением генератора в контрольной флотации и увеличенном расходе реагентов (Кх (амил) - 98 г/т; БТФ-163 – 27,0 г/т; С-7 – 18,0 г/т) получен золотосодержащий концентрат с содержанием золота 9,86 г/т при извлечении 89,4 %. Эффективность обогащения составила 72,12 %, коэффициент концентрации 4,76 ед.

Использование генератора в контрольной флотации при базовом расходе реагентов позволяет повысить извлечение золота на 3,72 % при незначительном снижении качества концентрата на 0,99 г/т. Содержание золота в отвальных хвостах снижается с 0,41 г/т до 0,31 г/т. При использовании генератора в контрольном цикле флотации при увеличенном расходе реагентов извлечение золота повышается на 4,69 % при снижении качества концентрата на 1,68 г/т. Содержание золота в отвальных хвостах снижается с 0,41 г/т до 0,27 г/т.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 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 (20). - 2010. - P.0641 - 0671.
- 2 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 (20). - 2010. - P.0159–0177.
- 3 Calgaroto S., Azevedo A. and Rubio J. Flotation of quartz particles assisted by nanobubbles // International Journal of Mineral Processing (137). - 2015. - P.64–70.
- 4 Ahmadi R., Khodadadi D. A., Abdollahy M. and Fan M. Nano-microbubble flotation of fine and ultrafine chalcopyrite particles // International Journal of Mining Science and Technology (24). - 2014. - P.559 - 566.
- 5 Богданов О.С., Максимов И.И., Поднек А.К., Янис Н.А. Теория и технология флотации руд. М.: Недра. - 1980. - 401 с.
- 6 Богданов О.С. Флотируемость крупных частиц. Физико-химические основы теории флотации. М.: Наука. - 1983. - С. 207-212.
- 7 Trahar W.J., Warren L.J. 1978. The Floatability of very Fine Particles (Review) // International J. Mineral Processing (3). - 1978. - N.1. - P.103-131.
- 8 Самыгин В.Д., Чертилин Б.С., Небора В.П. Влияние размера пузырьков на флотируемость инерционных частиц // Коллоидный журнал (39). - 1977. - № 6. - С.1101-1107.
- 9 Tussupbayev N., Semushkina L., Turysbekov D., Bekturganov N., Muhamedilova A. Modified reagents using for flotation tailings recycling // Complex Use of Mineral Resources. - 2017. - № 1. - P.78-82.
- 10 Рулёв Н.Н., Духин С.С., Чаплыгин А.Г. Эффективность захвата флотируемых частиц при многократных инерционных отражениях // Коллоидный журнал (49). - 1987. - № 5. - С. 939 - 948.

INFLUENCE OF TURBULENT MICROFLOTATION ON THE FLOATATION ENRICHMENT OF GOLD-BEARING ORE

***Semushkina L.V.^{1,2}, Turysbekov D.K.¹, Narbekova S.M.¹,**

ORCID: 0000-0001-8925-5250

0000-0003-0904-1565

0000-0002-7325-754X

Kaldybayeva Zh.A.¹, Mukhamedilova A.M.¹

¹«Institute of Metallurgy and Beneficiation» JSC, Almaty, Kazakhstan, *syomushkina.lara@mail.ru

²«Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev» NJSC, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *In work results of laboratory researches of influence of microbubbles on process of floatation enrichment of gold-bearing ore of the Vasilkovsky field are presented. Content of gold in ore was 2.2 g/t. It is established that introduction to a pulp at a stage of control flotation even of a small amount of microbubbles which size doesn't exceed 50 microns leads to essential increase in extraction of gold. The generator of water-air microemulsion was used in the control flotation, at the basic consumption of reagents, the generator allows to increase gold recovery by 3.72%, the quality of the concentrate is reduced by 0.99 g/t. The gold content in the tailings is reduced from 0.41 g/t to 0.31 g/t. With an increased consumption of reagents, the generator allows to increase gold recovery by 4.69%, the quality of concentrate is reduced by 1.68 g/t. The gold content in the tailings is reduced from 0.41 g/t to 0.27 g/t.*