

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

# РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ХВОСТОВ СМЕШАННОГО СОСТАВА МАЙКАИНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.17>

**\*Магомедов Д.Р.<sup>1</sup>, Абубакриев А.Т.<sup>1</sup>, Койжанова А.К.<sup>1,2</sup>,**  
ORCID: 0000-0001-7216-2349      0000-0002-5635-4700      0000-0001-9358-3193  
**Камалов Э.М.<sup>1</sup>, Ерденова М.Б.<sup>1</sup>**  
0000-0002-6073-348X      0002-0002-7496-5097

<sup>1</sup>АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан,  
\*davidmag16@mail.ru;

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

**Аннотация.** В связи с сокращением запасов богатых руд на сегодняшний день актуальной задачей является поиск новых технологий переработки забалансовых бедных руд, лежалых хвостов и других техногенных отходов золотоизвлекательных фабрик. В докладе приведены результаты исследований по извлечению золота из смешанной пробы лежалых хвостов Майкаинской обогатительной фабрики, в ходе которых осуществлялся подбор оптимального режима флотационного обогащения с последующим выщелачиванием концентратов флотации. В процессе выщелачивания золота из флотационных концентратов были также протестированы варианты предварительного биохимического окисления. Выявлено, что наилучший показатель извлечения золота - 67,8 % достигается при предварительном окислении флотоконцентратов гипохлоритом кальция.

Сложные по составу руды перерабатывают по комбинированным схемам, включающим различные сочетания технологических процессов. Схемы комбинированной обработки могут быть классифицированы следующим образом: флотация с последующим цианированием концентрата применяется к сырью, содержащему золото в самородном, а также в ассоциированном с сульфидами состояниях (пирит, арсенопирит, галенит и др.). Преимущества предварительной переработки сырья до процесса прямого цианирования сводятся к следующим случаям: 1) более низкая стоимость измельчения всей массы техногенного сырья (когда требуется тонкий помол); 2) относительно меньшая площадь всей установки для обработки сырья и меньшие (иногда на 50-60%) капитальные вложения; 3) меньший объем флотационного концентрата, составляющий обычно около 10-15% от веса руды, допускает применение к нему более совершенных методов обработки, которые не могут быть применены ко всей массе руды. Для руд, в которых значительное количество золота тесно связано с минералами сульфидов железа или образует с ними твердые растворы, эти сульфиды необходимо флотировать вместе со свободным золотом.

Переработка упорных сульфидных золотосодержащих руд и концентратов может быть эффективно осуществлена на основе метода цианирования после предварительного вскрытия золота и серебра (ассоциированных с сульфидами) различными методами. В мировой практике существуют способы переработки сульфидных золотосодержащей руд на основе автоклавного окисления концентрата после флотационного обогащения с последующим цианированием, в результате которой степень окисления сульфидов составляет не менее 97 %, извлечение золота по операции цианирование-сорбция - 96 % [1-3].

Объектами исследования являлась проба лежалых хвостов (смешанная проба) техногенных минеральных образований Майкаинской обогатительной фабрики.

Первоначально образец представительной смешанной пробы лежалых хвостов был направлен на рентгенофлуоресцентный анализ, который показал элементный состав исследуемого материала. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты рентгенофлуоресцентного анализа исходных проб

Наименование элементов	%	Наименование элементов	%
O	45,312	Ti	0,261
Na	0,505	Pb	0,007
Mg	0,34	Ba	15,534
Al	3,506	Mn	0,022
Si	16,174	Fe	11,189
P	0,064	Cu	0,126
S	7,88	Zn	0,308
Cl	0,061	As	0,057
K	0,635	Sb	0,77
Ca	0,299	Sr	0,24

Химическим анализом было установлено, что содержание золота в смешанной пробе хвостов Майкаинской обогатительной фабрики составляет 0,96 г/т. Данный анализ также подтвердил показатели рентгенофлуоресцентного по содержанию таких элементов, как сера, железо, медь и др. Подробные результаты химического анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав проб

Массовая доля элементов, %												
Au, г/т	Ag, г/т	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	S <sub>общ</sub>	SO <sub>4</sub>	Cu	Pb	Zn	As	Sb	C
0,96	23,9	30,91	7,94	12,6	8,01	2,99	0,12	0,01	0,30	0,058	0,77	1,57

Рентгенофазовый анализ показал преобладание в минералогическом составе пробы соединений кварца - 28,1%, барита – 22,3%, также присутствуют сульфидные минералы: пирит – 7,1% и сульфид цинка – 6,1%. Полный рентгенофазовый состав пробы представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Рентгенофазовый анализ исходной смешанной пробы

Наименование	Формула	%
Quartz, syn	SiO <sub>2</sub>	28.1
Barite	BaSO <sub>4</sub>	22.3
Gypsum	Ca(SO <sub>4</sub> )(H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	8.1
Scorodite	(Fe,Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·4H <sub>2</sub> O	7.0
Pyrite, syn	FeS <sub>2</sub>	7.1
Zinc Sulfide	ZnS	6.1
Iron Titanium Oxide	FeTiO <sub>3</sub>	6.2
Goethite, aluminian, syn	(Fe <sub>0.9</sub> Al <sub>0.1</sub> )O(OH)	5.6
Glauconite, heated	(K,Na)(Fe,Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	3.3
Clinochlore	Mg-Fe-Fe-Al-Si-O-OH	3.2
Muscovite-2M1	K <sub>0.932</sub> Al <sub>2</sub> (Al <sub>0.932</sub> Si <sub>3.068</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>1.744</sub> F <sub>0.256</sub>	3.1

Рациональным анализом установлено, что основная часть золота смешанной пробы ассоциирована с сульфидами – 46,88%, золото в тонковкрапленном в виде в составе породообразующих минералов – 19,79%, покрытое кварцем, пленками гидроксидов железа, карбонатов, хлоритов и других минералов – 12,5%. Формы нахождения золота, определенные рациональным анализом, показаны в таблице 4

Таблица 4 – Результаты рационального (фазового) анализа на золото измельченной пробы крупностью 90% - 0,071 мм

Формы нахождения золота и характер его связи с рудными компонентами	Распределение золота	
	г/т	%
Свободное и в виде сростков с рудными компонентами (цианируемое)	0,1	10,42
Покрытое кварцем, пленками гидроксидов железа, карбонатами, хлоритами и др.	0,12	12,50
Ассоциированное золото с сульфидами	0,45	46,88
Тонко вкрапленное в породообразующие минералы	0,19	19,79
Тонкодисперсное в породообразующие минералы	0,1	10,42
Итого в руде (по балансу)	0,96	100,00

Растрово-электронномикроскопическим анализом установлено, что в микроструктуре смешанной пробы присутствуют, сера, железо, кислород и барий. В данном фрагменте частицы пробы обнаружено 7,43% золота. Спектры серы (43,07%) и железа (23,3%) обнаруженные непосредственно с фрагментом золота указывают на ассоциацию золота с сульфидами, в данном случае пиритом. Степень спектров поглощения и частота встречаемости этих элементов в каждом отдельном фрагменте достигает максимума по сравнению с другими элементами (рисунок 1).

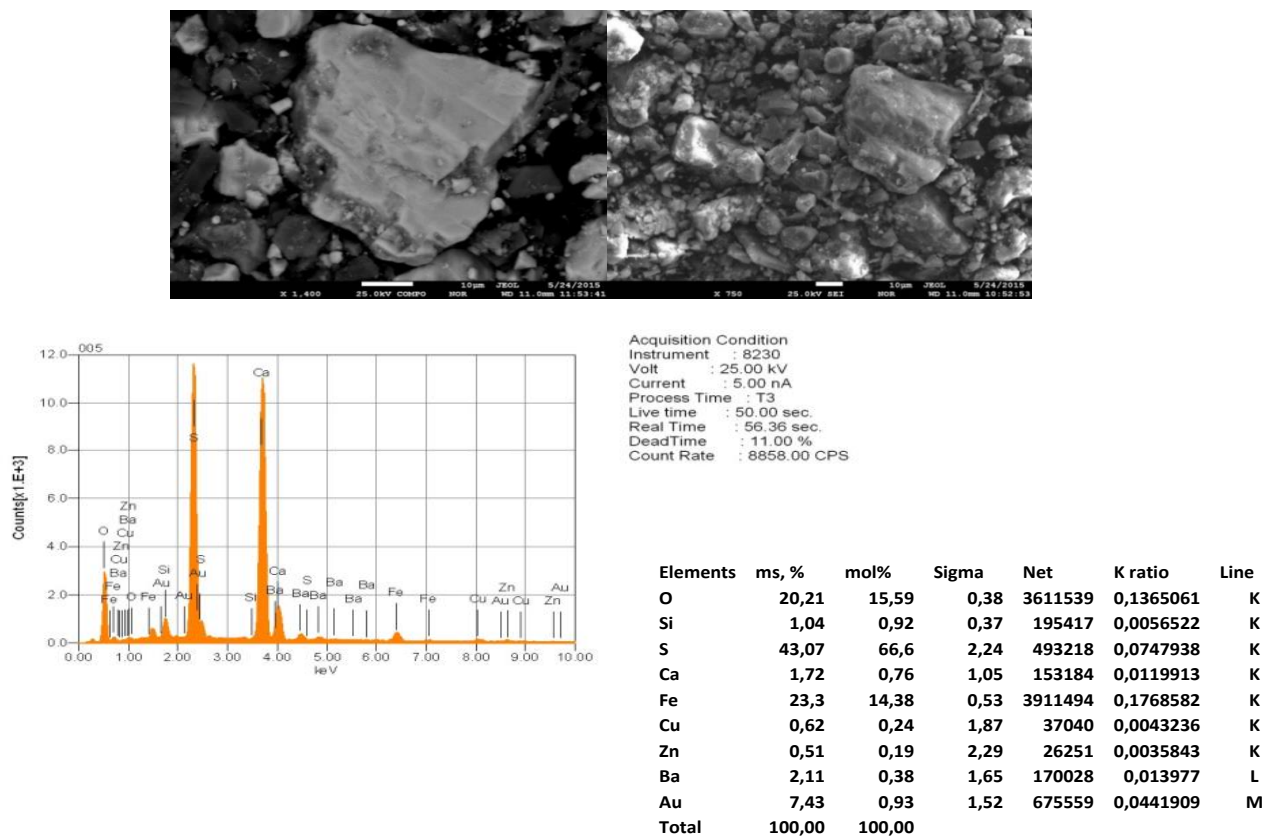


Рисунок 1 - Микрофотография и точечный ЭДС анализ частиц исходной пробы смешанных лежалых хвостов на РЭМ-РСМА

*Извлечение золота из смешанных лежалых хвостов методами флотационного обогащения и цианирования*

На первом этапе по исследованию извлечения золота были поставлены эксперименты по прямому цианированию исходной смешанной пробы.

Для определения оптимальных параметров проведены исследования динамики извлечения золота за 24 часа, при различных соотношениях Т:Ж = 1:2, 1:3, 1:4; температуре 25 °С, концентрации цианидного раствора 1 г/дм<sup>3</sup>. Отбор проб для анализа проводили в три стадии по 8 часов. Полученные данные представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты извлечения золота, агитационным цианированием, при разных вариантах Т:Ж

Т:Ж	Конц. Au в р-ре, мг/л			V р-ра, мл			E Au за 1 стадию в 8 часов, %			E Au, итоговое, %
	8 ч	16 ч	24 ч	8 ч	16 ч	24 ч	8 ч	16 ч	24 ч	
1:2	0,16	0,1	0,06	165	185	190	27,5	19,27	11,88	46,77
1:3	0,12	0,085	0,05	245	265	295	30,63	23,46	15,36	54,09
1:4	0,1	0,08	0,04	290	330	350	30,21	27,50	14,58	57,71

В ходе прямого цианирования наблюдалось увеличение показателя извлечения золота при увеличении соотношения Т:Ж. Максимальный показатель при этом составил 57,71% при Т:Ж = 1:4.

С целью совершенствования процесса переработки рудного сырья, в которых минералы имеют неоднородные технологические свойства и состоят из фракций, различающихся скоростью флотации, проведены следующие работы. Селективная флотация наблюдается только при определенном содержании разнофлотуемых фракций извлекаемого минерала в исходном питании, так как с увеличением времени флотации уменьшается разница в скорости (интенсивности) их флотации [4-5].

Была произведена наработка флотоконцентрата для исследования технологии комплексной переработки пробы месторождения Майкаин методами окисления и последующего цианидного выщелачивания. Концентрат, полученный из смешанной пробы хвостов в открытом цикле флотации с добавками реагентов собирателей – бутилового ксантогената и вспенивателя С-7 (флотанол), показал содержание золота на уровне 4,36 г/т.

*Результаты тестов по цианированию флотоконцентратов*

В ходе экспериментов по извлечению золота из флотоконцентратов смешанной пробы хвостов месторождения Майкаин были отработаны три варианта выщелачивания:

- *вариант 1:* масса пробы 50 г, с крупностью -0,071 мм. С предварительным защелачиванием NaOH, цианировали с подачей воздуха в течение 24 часов с концентрацией цианида 1 г/л, рН-10,8;

- *вариант 2:* масса пробы 50 г, с крупностью -0,071 мм. Предварительно окисляли биораствором в течение 5 суток, рН-2,1. После фильтрации, кек с предварительным защелачиванием NaOH, цианировали с подачей воздуха в течение 24 часов с концентрацией цианида 1г/л, рН-11;

- *вариант 3:* масса пробы 50 г, с крупностью -0,071 мм. Предварительно окисляли гипохлоритом натрия (10 г/л гипохлорита) в течение 12 часов рН- 12,5. После фильтрации кекцианировали с подачей воздуха в течение 24 часов с концентрацией цианида 1 г/л, рН-10,5;

Результаты экспериментов приведены в таблице 6.

При предварительном окислении гипохлоритом кальция с последующим цианированием во всех пробах повышается степень извлечения золота по сравнению с прямым цианированием на 15,8 %.

Таблица 6 – Результаты цианирования флотоконцентратов

Наименование	Показатели		
	1 вариант	2 вариант	3 вариант
Масса пробы, г	50	50	50
Масса раствора, мл	200	200	200
Концентрация NaCN, %	0,1	0,1	0,1
pH	10,5	10,5	10,5
Продолжительность, ч	24	24	24
С подачей воздуха	+	+	+
Содержание Au в исходном флотоконцентрате, г/т	4,36	4,36	4,36
Содержание Au в кеке, г/т	2,09	1,8	1,4
Степень извлечения Au, %	52,0	58,7	67,8

На основании результатов проведенных исследований могут быть рекомендованы следующие режимы по извлечению золота из хвостов Майкаинской ОФ: класс крупности пробы 90 % – -0,071 мм, флотационное обогащение, предварительное окисление флотоконцентрата гипохлоритом натрия в течение 12 часов, выщелачивание цианидом натрия с концентрацией 1 г/л.

При гипохлоритном выщелачивании осуществляется вскрытие золотосодержащих сульфидов (пирита и халькопирита) и растворение всего освобождающегося золота с дальнейшим выделением его из хлоридных растворов осаждением [6-10]. В результате тонкодисперсное золото высвобождается и может быть пригодно для цианирования. Полученные результаты подтверждают тот факт, что в процессе предварительного окисления и цианидного выщелачивания железосодержащие минералы разрушаются и частично переходят в раствор [11-15].

Эксперименты по извлечению золота из пробы хвостов смешанного состава Майкаинской обогатительной фабрики, показали целесообразность выщелачивания концентратов после флотационного обогащения по сравнению с не подвергавшейся предварительному окислению пробой. Так, даже самое максимальное извлечение золота 57,71% при цианировании исходной пробы с содержанием 0,96 г/т в массовом соотношении будет значительно ниже, чем при простом цианировании флотоконцентрата с содержанием 4,36 г/т, где показатель извлечения составил 52,0%. В свою очередь, предварительное окисление флотоконцентрата с последующим цианированием, позволяет существенно повысить степень извлечения. Так, при предварительном окислении флотоконцентрата биораствором извлечение золота после выщелачивания составило 58,7%. Применение же в качестве окислителя гипохлорита кальция, позволило повысить степень извлечения золота до 67,8%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богородский А.В. Исследование и разработка технологии переработки золотопиритных концентратов на основе метода автоклавного окисления. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск. 2012
2. Бектурганов Н.С., Арыстанова Г.А., Койжанова А.К., Ерденова М.Б. Сравнительные изучения эффективности способов доизвлечения золота из техногенного сырья // Цветные металлы. – 2016. – № 10. – С. 69-74. 3. Ковалев В.Н., Голиков В.В., Рылов Н.В. Анализ и выбор технологии переработки упорной золотосульфидной углеродсодержащей руды месторождения Бакырчик // Обогащение руд. – 2017. – № 2. – С. 21–26. DOI:10.17580/or.2017.02.04.
4. Абубакриев А.Т., Койжанова А.К., Арыстанова Г.А., Абдылдаев Н.Н., Магомедов Д.Р. Переработка первичных золотосодержащих рудных концентратов. Комплексное использование минерального сырья. – 2017. № 4. – С. 18-26.



5. Судаков Д.В., Челноков С.Ю., Русалев Р.Э., Елшин А.Н. Технология и оборудование для гидрометаллургического окисления упорных золотосодержащих концентратов (ES-процесс) // Цветные металлы. – 2017. – № 3. – С. 40–44.
6. Лолейт С.И., Меретуков М.А., Стрижко Л.С., Гурин К.К. Современные проблемы металлургии и материаловедения благородных металлов: учеб.пособие. – М.: Изд.-во Дом МИСиС, 2012. – 196 с.
7. Струков К.И., Плотников С.Н., Николаев Ю.Л., Пацкевич П.Г. Совершенствование технологий переработки золотоносных руд на обогатительных фабриках ЮГК // Цветные металлы. – 2017. – № 6. – С. 29–35.
8. Койжанова А.К., Седельникова Г.В., Камалов Э.М., Ерденова М.Б., Абдылдаев Н.Н. Извлечение золота из лежалых хвостов золотоизвлекательной фабрики // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 98–102.
9. Бочаров В.А., Игнаткина В.А. Анализ современных направлений комплексного использования упорных руд цветных металлов // Обогащение руд. - 2015.- №5. - С.46 -50.
10. Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Заулочный П.А., Кошель Е.А. Извлечение золота из упорных высокосульфидных концентратов с применением биогидрометаллургии // Цветные металлы. – 2012. – №4. – С. 37-41.
11. Watling H.R., Shiers D.W., Colinson D.M. Extremophiles in mineral sulphide heaps: Some bacterial responses to variable temperature, Acidity and Solution composition//microorganisms. – 2015. – №3. – P. 364-390.
12. Абдыкирова Г.Ж., Бектурганов Н.С., Дюсенова С.Б., Танекеева М.Ш., Сукуров Б. М. Исследование возможности извлечения золота из лежалых хвостов золотоизвлекательной фабрики // Обогащение руд. – 2015. – № 5. – С. 46–53.
13. Бочаров В.А., Игнаткина В.А., Юшина Т.И., Чантурия Е.Л. Рациональная переработка пиритно-пиритинового природного и техногенного комплексного сырья цветных металлов // Горный журнал. – 2017. – № 9. – С. 77–85.
14. Полежаев С.Ю., Черемисина О.В. Комплексная технология переработки золотосодержащих концентратов: автоклавное выщелачивание с последующим обжигом // Цветная металлургия. – 2015. – № 3. – С. 34–40.
15. Игнаткина В.А., Бочаров В.А. Выбор сульфидрильных собирателей при флотации сульфидов цветных металлов из упорных руд. // Цветная металлургия. – 2015. – № 1. – С. 3–11. DOI:10.17073/0021-3438-2015-1-3-11.

**DEVELOPMENT OF THE COMPLEX TECHNOLOGY  
OF GOLD EXTRACTION FROM TAILS OF MIXED COMPOSITION  
FOR MAIKAIN ENRICHMENT PLANT**

**\*Magomedov D.R.<sup>1</sup>, Abubakriev A.T.<sup>1</sup>, Koizhanova A.K.<sup>1,2</sup>**

ORCID: 0000-0001-7216-2349      0000-0002-5635-4700      0000-0001-9358-3193

**Kamalov E.M.<sup>1</sup>, Erdenova M.B.<sup>1</sup>**

0000-0002-6073-348X      0002-0002-7496-5097

<sup>1</sup>“Institute of Metallurgy and Beneficiation” JSC, Almaty, Kazakhstan,

\*davidmag16@mail.ru;

<sup>2</sup>“Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev” NJSC,  
Almaty, Kazakhstan

**Abstract.** *In connection with the reduction in the reserves of rich ores to date, an urgent task is to search for new technologies for processing off-balance poor ores, dead tailings and other technogenic wastes of gold recovery factories. This report describes the research carried out to extract gold from a mixed sample of the stale tailings of the Maikai concentrator, during which the optimal flotation enrichment regime was selected, followed by leaching of flotation concentrates. In the process of leaching gold from flotation concentrates, variants of preliminary biochemical oxidation were also tested. As a result, it was revealed that the best indicator of gold extraction is 67.8%. is achieved by preliminary oxidation of flotation concentrates with calcium hypochlorite.*