

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 669.053.4
МРНТИ 53.37.35
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.2>

Комплексное использование
минерального сырья. № 2. 2018.

М. Б. ЕРДЕНОВА^{1*}, А. К. КОЙЖАНОВА^{1,2}, Э. М. КАМАЛОВ¹, Н. Н. АБДЫЛДАЕВ¹,
А. Т. АБУБАКРИЕВ¹

¹ Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан, *e-mail: erdenova_mariya@mail.ru

² Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан

ДОИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД КАЗАХСТАНА

Received: 02 March 2018 / Peer reviewed: 16 April 2018 / Accepted: 21 May 2018

Резюме: Одной из важных задач золотодобывающей отрасли является вовлечение в переработку упорного труднообогатимого золотосодержащего сырья, а также хвостохранилищ, которые занимают огромные площади и ухудшают экологическое состояние районов. Исследования, направленные на доизвлечение золота из техногенного сырья, имеют не только научно-практическую, но и социальную и экологическую значимость. В переработке сырья применяются операции предварительного окисления, одним из которых является метод биоокисления золотосодержащего сырья с использованием биовыщелачивающего раствора *A.Ferrooxidans*. Этот метод позволяет интенсифицировать процесс биоокисления извлечения золота из золотосодержащего сырья за счет более глубокого вскрытия сульфидов. Поэтому исследования направленные на повышение эффективности доизвлечения золота из техногенного сырья, являются актуальными. В статье приведены результаты исследований по извлечению золота из лежалых хвостов золотоизвлекательной фабрики Алтынтау Кокшетау с использованием биовыщелачивающего раствора *A.Ferrooxidans*. Изучен химический, минеральный и рентгенофазовый состав пробы. Показано, что проба имеет силикатную основу, представленную кварцем, альбит-анортитовой смесью, мусковитом, каолинитом. Установлено, что в исследуемой пробе содержится 8,49 г/т Au и 2,4 г/т Ag. Были проведены различные варианты выщелачивания: 1) доизмельчение с последующим цианированием; 2) цианидное выщелачивание с предварительной сернокислотной промывкой; 3) биоокисление бактериальным раствором *A. Ferrooxidans*. Показано, что применение предварительного биоокисления позволяет повысить извлечение золота. В результате было выявлено, что доизвлечение золота из лежалых хвостов сорбции путем двухстадийного выщелачивания - бактериального вскрытия сырья, а затем цианирования являются наиболее эффективными. Наилучший показатель извлечения золота в растворах по первому варианту составил 62,7 % золота, по второму варианту с использованием хлорида натрия и последующим цианированием - 79 %, и по третьему варианту биохимической технологии с цианидом натрия – 82,8 % золота.

Ключевые слова: золотоизвлекательная фабрика, лежалые хвосты, технология, окисление, доизвлечение золота, бактериальное выщелачивание, цианирование, гидрометаллургия.

Введение. В связи с истощением запасов кондиционных золотосодержащих руд, в сферу производства все чаще вовлекается низкосортное, забалансовое сырье, и как следствие растет количество техногенных отходов. Одним из видов таких отходов являются лежалые хвосты сорбции [1]. Как правило, - это упорное трудновскрываемое сырье, которое не поддавалось вскрытию в процессе переработки исходной руды. Однако содержание благородных металлов в подобном сырье, зачастую, выше, чем в низкосортном минеральном [2]. Разработка и освоение технологии извлечения золота из накопленных техногенных и минеральных

объектов, в первую очередь, из отвалов, хвостов золотоизвлекательных фабрик и производств, приобретает особую значимость для многих золотодобывающих предприятий, на которых сырьевые запасы кондиционных руд близки к истощению. В связи с этим большое внимание уделяется разработке новых методов, которые могут быть конкурентоспособными и эффективными в плане извлечения благородных металлов из низкосортного и техногенного сырья [3-4].

Наиболее молодым и перспективным направлением являются биотехнологии, предусматривающие, в основном, биоокисление.

Биоокисление золота и сопутствующих металлов из техногенного сырья рассматривается как наиболее приемлемый, менее затратный и экологически безопасный метод [5-7]. Биоокисление и биовыщелачивание являются одними из простых способов извлечения металлов из техногенного сырья, так как микроорганизмы, используемые в этом процессе, являются постоянными аборигенами месторождений цветных и благородных металлов. Бактериальное выщелачивание сульфидных минералов наиболее эффективно протекает с использованием смешанных культур микроорганизмов. При этом повышается степень окисления сульфидов (арсенопирита, пирита) и увеличивается степень извлечения золота из выщелачиваемого материала.

Многими учеными [8] показаны преимущества процессов биовыщелачивания и биоокисления с использованием штаммов микроорганизмов для извлечения золота из техногенного сырья.

Настоящая работа посвящена проведению исследований по сравнительному изучению эффективности способов доизвлечения золота из техногенного сырья с использованием методов прямого цианирования и биоокисления с последующим цианированием.

Цель работы - доизвлечение золота из отходов переработки золотосодержащих руд Казахстана с применением биовыщелачивающего раствора *A. Ferrooxidans*.

Экспериментальная часть и обсуждение. Объектом исследований являлось исходное сырье лежалых хвостов сорбции золотоизвлекательной фабрики Алтынтау Кокшетау. Предварительно, сырье измельчалось до 0,071 мм на виброистирателе. Согласно химическому анализу, состав исходного сырья следующий (в %): SiO₂ – 35,11; Fe₂O₃ – 16,71; CaO – 4,02; MgO – 2,54; Al₂O₃ – 7,06; As – 20,81; Zn – 0,09; Co – 0,03; Ni – 0,0036; Mn – 0,056; Cu – 0,11. Содержание благородных металлов, г/т: 8,49 Au; 2,4 Ag.

С целью доизвлечения золота из хвостов сорбции были проведены вскрытия исходного сырья: прямое цианирование – агитационное выщелачивание раствором цианида натрия с предварительной кислотной промывкой исходного сырья и двух стадийное - биохимическое выщелачивание на первой стадии с последующей промывкой кека и его цианированием. Эксперименты по цианидному выщелачиванию лежалых хвостов вели в термостатированном реакторе по общепринятой методике [9].

Перемешивание пульпы осуществляли мешалкой марки «Stirrer – BS» с регулируемым числом оборотов, скорость перемешивания составляла 300 об/мин. Постоянство температуры стабилизировали с помощью термостата марки «U2C» и поддерживали комнатную температуру 25 °С. Максимальная продолжительность процесса составляла 36 часов. Отношение Т:Ж = изменялось от 1:1 до 1:5; концентрация NaOH составляла 0,1 г/дм³, концентрация NaCN составляла 1 г/дм³. Бактериальное выщелачивание исходного сырья – хвостов сорбции – проводили раствором следующего состава: 5,0-6,0 г/дм³ Fe³⁺, H₂SO₄ -3,0 г/дм³; pH 1,5, концентрация бактерий *A. Ferrooxidans* – 10⁷ кл/мл, при соотношении твердого к жидкому Т:Ж=1:4. Продолжительность процесса агитации проводилось в течении 5–7 суток. После фильтрации, кек промывали водой до pH 7,0.

Бактериальному выщелачиванию предшествовала кислотная обработка хвостов, с целью вымывания карбонатных частиц, при следующих условиях: отношение Т:Ж=1:4; концентрация H₂SO₄ – 1-2 %; температура 25 °С; продолжительность агитации 2 часа.

Количественное содержание золота определяли пробирным методом анализа и атомно-адсорбционным. Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение α -Cu.

Данные минералогического анализа оказывают характерность пробы золото-сульфидным-кварцевым рудам. Минералогическим, шлиховым, атомно-абсорбционными оптическими и химико-аналитическими методами изучались взаимоотношения рудных и жильных минералов, крупность золота и форм его нахождения, минералов-концентраторов золота, аспределения по минералам, выделение технологического типа руд. Изучен брикет, массой навески 4-5 г, сформированного из данного материала.

Выявлено, что в значительном количестве присутствует тонкодисперсное золото, к которому принято относить зерна размером от долей микрометра до 10 мкм. Золото микро-нанометрового размера может присутствовать в сульфидах, карбонатах, силикатах, оксидах и гидроксидах.

В золотосодержащих рудах оно в основном ассоциирует с сульфидами, главным образом с пиритом и арсенопиритом. В тоже время тонкодисперсное золото обнаружено в кварце, слоистых алюмосиликатах и органическом веществе, в которых оно распределено крайне неравномерно и может присутствовать в переменном количестве [10-17].

В таблице 1 приведен минералогический анализ проб исходных лежалых хвостов, где приведены размерности и распространенности всех компонентов.

Таблица 1 - Характеристика размерности и распространенности всех компонентов

Основные компоненты	От исследуемого количества зерен, %	Размеры компонентов, мкм
Арсенопирит ($FeAsS$)	94	5-20 мкм (редко 150 мкм)
Пирит (FeS_2)	3	5-20 мкм (редко до 120 мкм)
Халькопирит ($CuFeS_2$)	2	2-5 мкм (редко до 40 мкм)
Магнетит (Fe_3O_4)	Ед.	5-20 мкм
Серебро Ag	Ед.	1-5,7
Золото Au	Ед.	0,5-5,3
Углерод C	Ед. ($\approx 0,3\%$)	7-50
Итого:	100	

Выявлено, что количество обнаруженных частиц золота незначительно. Размер частиц Au колеблется в пределах 0,5-5,3 мкм. Всего обнаружено 6 частичек золота, из них 5 находится в свободной форме, один в сростке с вмещающей пустой породой, что соответствует: Au 9,02 % – свободное и в сростках. На долю активированного угля приходится в среднем $\approx 0,3$ % от общего количества исследуемых зерен. Размерность частиц колеблется в пределах C (7-50 мкм).

В единичном случае обнаружен простой краевой сросток золота, представленный неглубоким заливообразным включением тонкодисперсного Au (3,6x5,3 мкм) с бугорчатой поверхностью в частице вмещающей пустой породы п.п.(12x18 мкм), т.е. золото с частично обнаженной поверхностью.

Как видно на рисунке 1 золото имеет синевато-зеленоватый оттенок, свидетельствующий о наличии пленок, вероятно борнит-ковеллинового состава (Борнит – Cu_5FeS_4 , Ковеллин – CuS). Подобные пленки затрудняют доступ цианида к золоту.

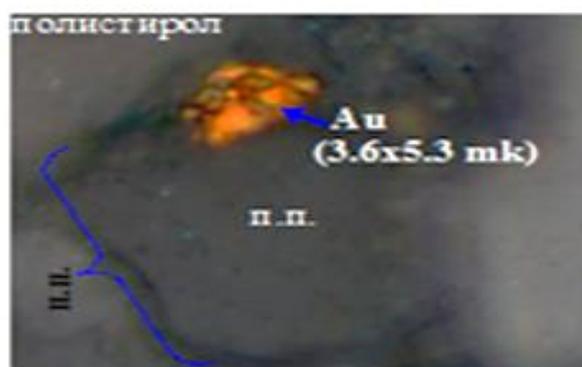
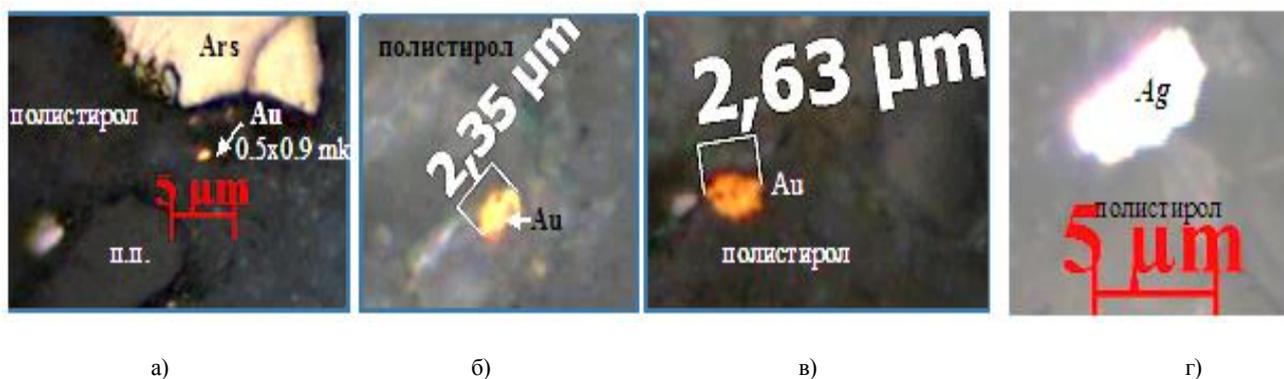


Рисунок 1 - Минералогический анализ частиц золота размерностью 5,3 мкм

Свободное золото отмечается в виде тонкодисперсных частиц с вариацией размеров Au (0,5x2,63 мкм). Серебро присутствует в незначительном количестве в виде тонкодисперсных частиц с вариацией размеров в пределах Ag 1-5,7 мкм, преимущественно в свободной форме (рисунк 2).



а) частичка золота размерностью 0,9 мкм, б) частичка золота размерностью 2,35 мкм, в) частичка золота размерностью 2,63 мкм; г) частичка серебра размерностью 5 мкм.

Рисунок 2 - Минералогический анализ тонкодисперсных частиц золота и серебра

Сопутствующие компоненты, перечисленные в порядке их распространенности, представлены арсенопиритом (FeAsS), пиритом (FeS_2), халькопиритом (CuFeS_2), и реже магнетитом (Fe_3O_4), сфалеритом (ZnS); и теннантитом ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$); в единичных случаях обнаружен сросток арсенопирита с галенитом (PbS) (рисунок 3).

Исследование фазового состава проводилось с использованием рентгенофазового, ИК-спектрофотометрического методов анализа. ИК спектроскопия показала, что хвосты состоят из арсенопирита (FeAsS), пирита (FeS_2), кварца ($\alpha\text{-SiO}_2$) и полевого шпата [$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$] как основной фазы, а также мусковита ($\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$), каолинита ($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$),

кальцита CaCO_3 , клинохлора ($\text{Mg, Fe}_5\text{Al}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH}]_8$), рутила TiO_2 , магнетита Fe_3O_4 , метасиликата ZnSiO_3 , гематита Fe_2O_3 и гидроксидов железа.

Исследование фазового состава хвостов сорбции показало, что они состоят из кварца ($\alpha\text{-SiO}_2$) и полевого шпата [$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$] как основной фазы, а также мусковита ($\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$), каолинита ($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$), кальцита CaCO_3 , клинохлора ($\text{Mg, Fe}_5\text{Al}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH}]_8$) и в небольших количествах рутила TiO_2 , пирита FeS_2 , силиката цинка ZnSiO_3 , клиноферросилита $\text{Fe}(\text{SiO}_3)$, магнетита Fe_3O_4 , гематита Fe_2O_3 и гидроксидов железа (рисунок 4).

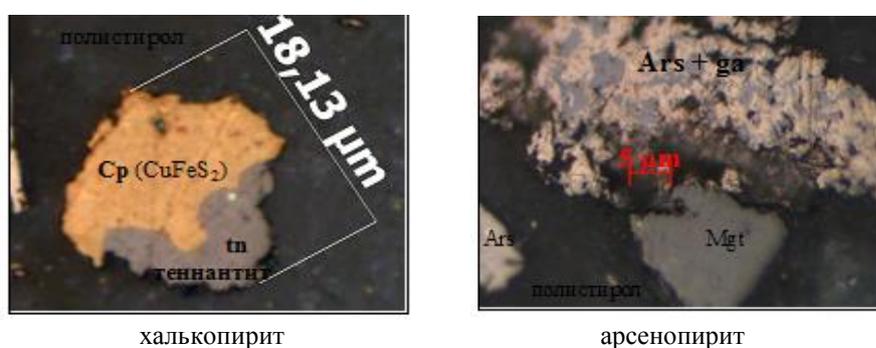


Рисунок 3 - Минералогический анализ сопутствующих компонентов

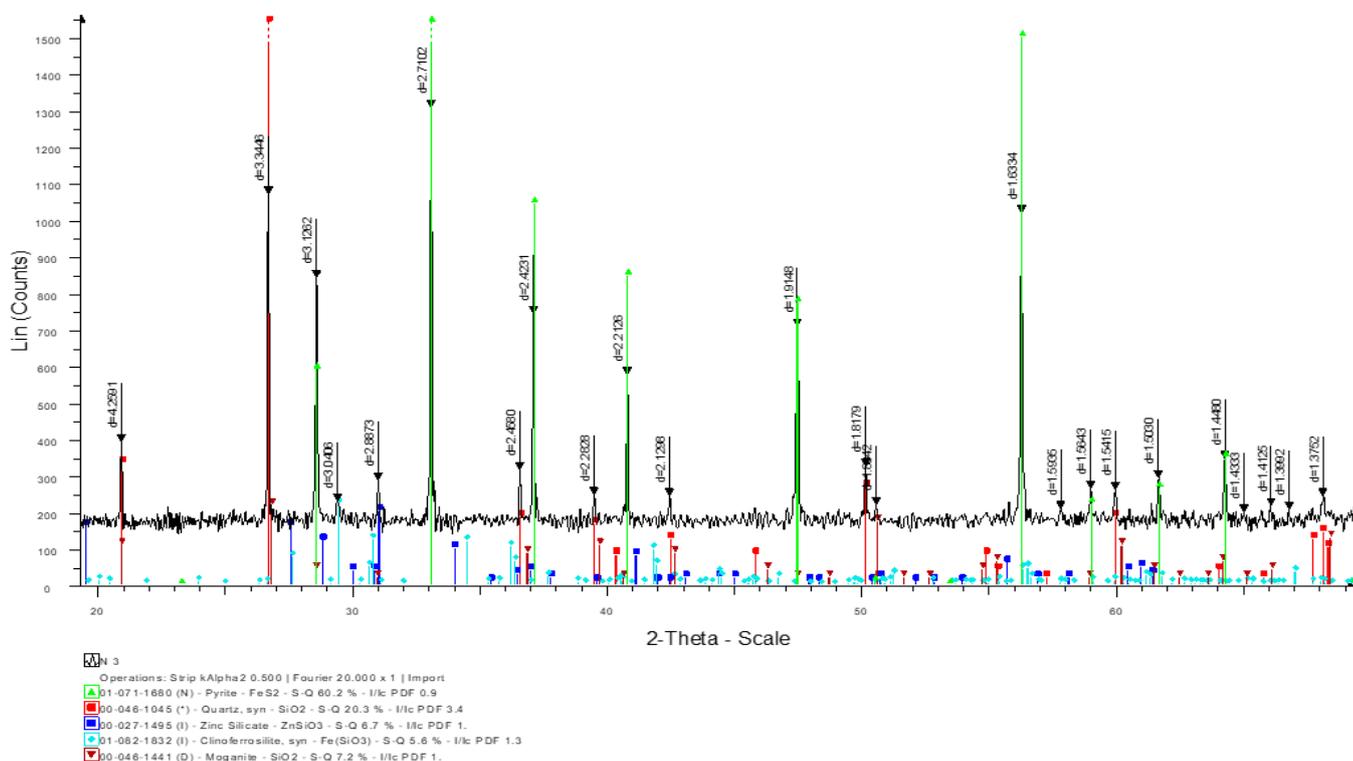


Рисунок 4 – Результаты рентгенофазового анализа пробы лежалых хвостов

Для выяснения форм нахождения золота, характера его взаимосвязи с рудными компонентами и оценки высвобождаемости в процессе измельчения был выполнен фазовый (рациональный) анализ пробы хвостов, результаты которого приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты фазового анализа пробы хвостов на золото

Наименование параметров	Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
Золото свободное с чистой поверхностью при 90 % класса минус 0,071 мм	0,76	9,02
Золото в сростках (цианируемое)	0,42	4,90
Золото в пленках	0,61	7,16
Золото в сульфидах	5,85	68,92
Золото в нерастворимых в царской водке минералах и кварце	0,85	10,0
Итого	8,49	100

При крупности минус 0,071 мм доля свободного золота составляет 9,02 %. Доля золота в сростках (цианируемого) равна 4,90 %. Всего цианируемого золота – 13,92 %.

Оставшееся золото может проявлять упорность к процессу цианирования вследствие тесной ассоциации золота с сульфидами (68,92 %), нахождения его в "кварцевой рубашке" (10,0 %), а также вследствие наличия пленок на его поверхности (7,16 %).

Кроме того, при исследовании прямого цианирования были определены оптимальные параметры процесса. Из рисунка 5 следует, что в процессе прямого цианирования увеличение отношения Т:Ж свыше 1:5 не эффективно, также как и продолжительность процесса свыше 24 часов.

Было изучено влияние температуры на процесс цианирования доизмельченных хвостов. Показано, что повышение температур от 20 до 37 °С способствует росту степени извлечения золота при прямом цианировании. Выявлено, что уже при 40 °С происходит улетучивание цианидов.

Исследованы содержание золота в растворе в зависимости от времени, данные которых приведены в таблице 3.

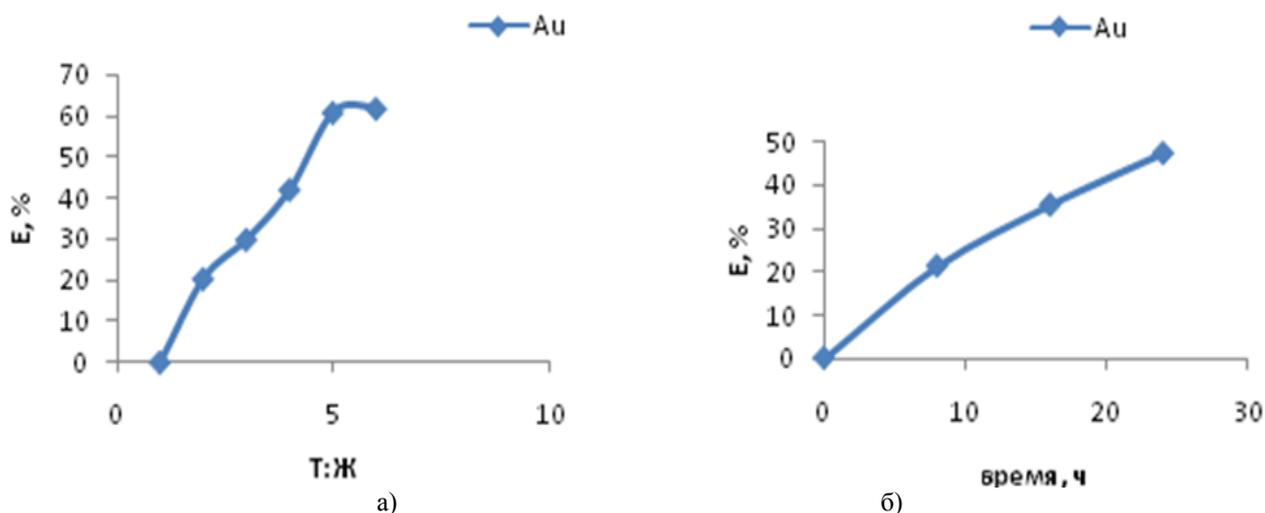


Рисунок 5- Зависимость степени извлечения золота от отношения Т:Ж (а) и продолжительности процесса выщелачивания (б).

Таблица 3 – Извлечение золота из лежалых хвостов различными вариантами выщелачивания

№ опытов	рН	Содержание золота в растворе, мг/дм ³				Извлечение золота, %			
		2 ч	6 ч	18 ч	24 ч	2ч	6 ч	18ч	24ч
1	10,2	0,6	0,95	1,2	1,4	26,9	42,5	53,7	62,7
2	10,5	1,02	1,73	1,76	1,8	45,7	77,4	78,8	79,0
3	9,6	1,1	1,76	1,8	1,85	49,2	78,8	80,6	82,8

Из таблицы 3 видно, что при биохимическом выщелачивании извлечение золота составило – 82,8 % что превышает данные приведенных в [21]; с использованием хлорида натрия и последующим цианированием – 79 %, и методом доизмельчения с последующим цианированием – 62,7%.

В процессе исследований биохимического выщелачивания применяли бактериальные растворы, содержащие двух- и трехвалентное железо. Наблюдения показали, что восстановление трехвалентного и окисление двухвалентного железа с участием бактерий завершается на седьмые сутки. Следует отметить, что железо в данном случае является питательной средой для *A.Ferrooxidans*. Необходимую энергию для роста, эти бактерии получают при окислении восстановленных соединений серы и двухвалентного железа в присутствии свободного кислорода. Они развиваются при pH от 1 до 4,8 с оптимумом при 2 – 3. Интервал температур, в котором могут развиваться бактерии этого вида, составляет от 3 до 40 °С с оптимумом при 28 °С. Основными ионами в растворе являются окисленная форма железа (Fe^{3+}) и восстановленная форма (Fe^{2+}), величина окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) определяется их соотношением. При бактериальном окислении сульфидных минералов концентрация Fe^{3+} может достигать 20-30 г/л. При высокой активности биомассы, Fe^{2+} , в растворе практически отсутствует, поэтому в таких растворах величина ОВП составляет 700-850 мВ, что согласуется с литературными данными [21].

В процессе ОВП формируется высокий окислительно-восстановительный потенциал среды, который влияет на структуру золотосодержащих материалов, облегчая последующее цианирование.

Таблица 4 – Фазовый состав кека после бактериального вскрытия

Наименование	Формула	S-Q, %
Quartz, syn	SiO_2	20
Arsenopyrite	$FeAsS$	15,2
Microcline	$KAlSi_3O_8$	15,2
Albite (heat-treated)	$Na(AlSi_3O_8)$	13,6
Kaolinite 1A	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	9
Muscovite	$H_2KAl_3Si_3O_{12}$	7,6
Ferropargasite, syn	$NaCa_2Fe_4Al(Si_6Al_2)O_{22}(OH)_2$	7,4
Pyrite	FeS_2	3,9

Был проведен рентгенофазовый анализ кека после бактериального выщелачивания (таблица 4), который показал, что в процессе бактериального вскрытия происходят количественные изменения в содержании арсенопирита, пирита, а из нерудных минералов – альбита. Более устойчивыми оказались мусковит, шамозит, а также кварц.

Выводы. На основании полученных данных в процессе исследования переработки лежалых золотосодержащих хвостов рекомендуется двухстадийное выщелачивание: предварительная промывка хвостов сернокислотным раствором (H_2SO_4 2 %) для удаления кислоторастворимых металлов при pH – 1,5, и вскрытие бактериальным раствором. Выявлено, что *A.Ferrooxidans* оказались адаптированными к высоким концентрациям токсичных веществ с содержанием Fe^{3+} – 5 г/дм³ и бактерий 10⁶ кл./мл в течение 5 суток при pH=1-2, при нейтрализации твердой фазы, и выщелачиванием цианистым раствором (CN^- 1 г/дм³) в течении 24 часов.

Проведенные исследования показали более эффективную возможность доизвлечения золота из лежалых хвостов сорбции путем двухстадийного выщелачивания: на первой стадии – бактериальное вскрытие сырья, а на второй – цианирование. Степень извлечения золота в этих условиях составляет 82,8 %. При таком бактериальном вскрытии наблюдается растворение пирита и арсенопирита, и при этом в раствор активно переходят железо и мышьяк, которые впоследствии образуют соединение $FeAsO_4$.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 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. DOI: /10.17580/tsm.2016.10.10.
- 2 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.
- 3 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
- 4 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. DOI: 10.17580/tsm.2017.03.06.

5 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.

6 Струков К.И., Плотников С.Н., Николаев Ю.Л., Пацкевич П.Г. Совершенствование технологий переработки золотосодержащих руд на обогатительных фабриках ЮГК. // Цветные металлы. – 2017. – № 6. – С. 29–35. DOI: 10.17580/tsm.2017.06.04

7 Койжанова А.К., Седельникова Г.В., Камалов Э.М., Ерденева М.Б., Абдылдаев Н.Н. Извлечение золота из лежалых хвостов золотоизвлекательной фабрики. // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 98–102.

8 Бочаров В.А., Игнаткина В.А. Анализ современных направлений комплексного использования упорных руд цветных металлов. // Обогащение руд. – 2015. – №5. – С. 46–50. DOI: /10.17580/or.2015.05.08.

9 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.

10 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. DOI:10.3390/microorganisma 303364.

11 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. DOI: /10.17580/or.2015.03.03.

12 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. DOI:10.17580/gzh 2017.09.04.

13 Полежаев С.Ю., Черемисина О.В. Комплексная технология переработки золотосодержащих концентратов: автоклавное выщелачивание с последующим обжигом // Цветная металлургия. – 2015. – № 3. – С. 34–40. DOI: 10.17073/0021-3438-2015-3-34-39

14 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.

15 The study on heap bioleaching for gold recovery from refractory ores using non-cyanide lixiviant. // 19th International Biohydrometallurgy symposium (IBS).2011. Changsha. – V. 2. – P. 813-817.

16 Струков К.И., Плотников С.Н., Николаев Ю.Л., Плотникова И.Е. Опыт внедрения технологии кучного выщелачивания золота на рудниках «Куросан», «Светлинский» и «Березняковский». // Цветные металлы. – 2017. – № 9. – С. 46–52. DOI:10.17580/hsa.2017.09.07.

17 Жмурова В.В., Немчинова Н.В., Минеев Г.Г. Кислотное выщелачивание примесей золотосодержащего катодного осадка // Цветные металлы. – 2017. – № 7. – С. 41–46. DOI:10.17580/tsm.2017.07.07.

18 Кожахметов С.М., Квятковский С.А., Оспанов Е.А., Семенова А.С. Пирометаллургическое вскрытие упорных углито-мышьяковистых коренных руд золота с извлечением благородных металлов в штейны. // Цветные металлы. – 2017. – № 9. – С. 53–58. DOI:10.17580/tsm.2017.09.08.

19 Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е. Выделение из продуктов обогащения росышей шлихового золота методом

магнитно-жидкостной сепарации // Цветная металлургия. – 2017. – № 5. – С. 4–13. DOI:10.17073/0021-3438/-2017-4-12.

20 Рыльникова М.В., Ежов В.А., Никифорова И.Л., Плотников С.Н. Энергоэффективные технологии добычи и переработки золотосодержащих руд Светлинского месторождения // Цветная металлургия. – 2017. – № 9. – С. 35–41. DOI:10.17580./gzh 2017.09.07.

21 Lattorre M., Ehrenfeld N., Cortes M.P., Travisany D., Budinich M. Global transcriptional responses of Acidithiobasillus Ferrooxidans weneled under different Sulphide Minerals//21st International Biohydrometallurgy Symposium (IBS). Bali. – 2015. – P.425-429.

REFERENCES

1 Bekturganov N.S., Arystanova G.A., Kojzhanova A.K., Erdenova M.B. *Sravnitel'nye izucheniya ehffektivnosti sposobov doizvlecheniya zolota iz tekhnogenogo syr'ya* (Comparative studies of the effectiveness of methods for extracting gold from technogenic raw materials) *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **2016**. 10, 69–74. DOI: [http:// dx.doi.org/10.17580/tsm.2016.10.10](http://dx.doi.org/10.17580/tsm.2016.10.10). (in Russ).

2 Kovalev V.N., Golikov V.V., Rylov N.V. *Analiz i vybor tekhnologii pererabotki upornoj zolotosul'fidnoj uglerodsoderzhashchej rudy mestorozhdeniya Bakyrchik* (Analysis and selection of processing technology for the persistent gold sulfide carbonaceous ore of the Bakyrchik deposit) *Obogashchenie rud = Enrichment of ores*. **2017**. 2, 21–26. DOI:10.17580/or.2017.02.04. (in Russ).

3 Abubakriev A.T., Kojzhanova A.K., Arystanova G.A., Abdyl'daev N.N., Magomedov D.R. *Pererabotka pervichnykh zolotosoderzhashchih rudnykh koncentratov*. (Processing of primary gold-containing ore concentrates) *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral resources*. **2017**. 4, 18–26. (in Russ).

4 Sudakov D.V., Chelnokov S.Ju., Rusalev R.Je., Elshin A.N. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya gidrometallurgicheskogo okisleniya upornykh zolotosoderzhashchikh kontsentratov (ES-process)* (Technology and equipment for hydrometallurgical oxidation of persistent gold-bearing concentrates) (ES-process). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **2017**. 3, 40–44. DOI: 10.17580/tsm.2017.03.06. (in Russ).

5 Lolejt S.I., Meretukov M.A., Strizhko L.S., Gurin K.K. *Sovremennye problemy metallurgii i materialovedeniya blagorodnykh metallov: ucheb. posobie*. (Modern problems of metallurgy and materials science of precious metals) - M.: Izd.-vo Dom MISiS, 2012. - 196 s. (in Russ).

6 Strukov K.I., Plotnikov S.N., Nikolaev Ju.L., Packevich P.G. *Sovershenstvovanie tekhnologij pererabotki zolotonosnykh rud na obogatitel'nykh fabrikakh YuGK* (Perfection of technologies for processing gold-bearing ores at the concentrators of Yugansk) *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **2017**. 6, 29–35. DOI: 10.17580/tsm.2017.06.04. (in Russ).

7 Kojzhanova A.K., Sedel'nikova G.V., Kamalov Je. M., Erdenova M. B., Abdyl'daev N.N. *Izvlechenie zolota iz lezhalykh khvostov zolotoizvlekatel'noj fabriki* (Extraction of gold from the stale tails of the gold recovery factory) *Otechestvennaya geologiya = Domestic geology*. **2017**. 6, 98–102. (in Russ).

8 Bocharov V.A., Ignatkina V.A. *Analiz sovremennykh napravlenij kompleksnogo ispol'zovaniya upornykh rud tsetnykh metallov* (Analysis of current trends in the integrated use of non-ferrous metal refractory ores) *Obogashchenie rud = Ore dressing*. **2015**. 5, 46–50. DOI: [http:// dx.doi.org/10.17580/or.2015.05.08](http://dx.doi.org/10.17580/or.2015.05.08). (in Russ).

- 9 Sedel'nikova G.V., Savari E.E., Zaulochnyj P.A., Koshel' E.A. *Izвлечение золота из упорных высокосульфидных концентратов с применением биогидрометаллургии* (Extraction of gold from persistent high-sulfide concentrates with the use of biohydrometallurgy). *Cvetnyye metally = Non-ferrous metals*. **2012**. 4, 37-41. (in Russ).
- 10 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. 364-390. DOI:103390/microorganisma 303364. (in Eng).
- 11 Abdykirova G.Zh., Bekturganov N.S., Dyusenova S.B., Tanekeeva M.Sh., Sukurov B. M. *Issledovanie vozmozhnosti izvlecheniya zolota iz lezhalykh khvostov zolotoizvlekatel'noj fabriki* (Investigation of the possibility of extracting gold from the stale tails of the gold recovery factory) *Obogashchenie rud = Ore dressing*. **2015**. 5, 46-53. DOI: //dx.doi.org/10.17580/or.2015.03.03. (in Russ).
- 12 Bocharov V.A., Ignatkina V.A., Jushina T.I., Chanturija E.L. *Ratsional'naya pererabotka piritno-piritinovogo prirodnogo i tekhnogenno kompleksnogo syr'ya tsvetnykh metallov* (Rational processing of pyrite-pyrrhine natural and technogenic complex raw materials of non-ferrous metals) *Gornyj zhurnal = Mountain magazine*. **2017**. 9, 77-85. DOI:10.17580/gzh 2017.09.04. (in Russ).
- 13 Polezhaev S.Ju., Cheremisina O.V. *Kompleksnaya tekhnologiya pererabotki zolotosoderzhashchikh kontsentratov: avtoklavnoe vyshchelachivanie s posleduyushchim obzhigom* (Complex processing technology for gold-bearing concentrates: autoclave leaching with subsequent baking) *Tsvetnaya metallurgiya = Non-ferrous metallurgy*. **2015**. 3, 34-40. DOI: 10.17073/0021-3438-2015-3-34-39 (in Russ).
- 14 Ignatkina V.A., Bocharov V.A. *Vybor sulfidril'nykh sobiratelej pri flotatsii sulfidov tsvetnykh metallov iz upornykh rud* (Selection of sulfhydryl collectors in the flotation of non-ferrous sulfides from refractory ores) *Tsvetnaya metallurgiya = Non-ferrous metallurgy*. **2015**. 1, 3-11. DOI:10.17073/0021-3438-2015-1-3-11. (in Russ).
- 15 The study on heap bioleaching for gold recovery from refractory ores using non-cyanide lixiviant// 19th International Biohydrometallurgy symposium (IBS). Changsha. **2011**. 2. 813-817. (in Eng).
- 16 Strukov K.I., Plotnikov S.N., Nikolaev Ju.L., Plotnikova I.E. *Opyt vnedreniya tekhnologii kuchnogo vyshchelachivaniya zolota na rudnikakh «Kurosan», «Svetlinskij» i «Bereznyakovskij»* (The experience of introduction of technology of heap leaching of gold in the mines "Kurosan", "Svetlinsky" and "Bereznyakovskiy") *Tsvetnyye metally = Non-ferrous metals*. **2017**. 9, 46-52. DOI:10.17580/hsa.2017.09.07. (in Russ).
- 17 Zhmurova V.V., Nemchinova N.V., Mineev G.G. *Kislотноe vyshchelachivanie primesej zolotosoderzhashchego katodnogo osadka* (Acidic leaching of gold-containing cathode sediment impurities) *Tsvetnyye metally = Non-ferrous metals*. **2017**. 7, 41-46. DOI:10.17580/tsm. 2017.07.07. (in Russ).
- 18 Kozhahmetov S.M., Kvjatkovskij S.A., Ospanov E.A., Semenova A.S. *Pirometallurgicheskoe vskrytie upornykh uglisto-mysh'yakovistykh korennykh rud zolota s izvlecheniem blagorodnykh metallov v shtejny* (Pyrometallurgical dissection of persistent carbonaceous-arsenic indigenous gold ores with the extraction of precious metals into matte) *Tsvetnyye metally = Non-ferrous metals*. **2017**. 9, 53-58. DOI:10.17580/tsm.2017.09.08. (in Russ).
- 19 Evdokimov S.I., Gerasimenko T.E. *Vydelenie iz produktov obogashcheniya rossypej shlikhovo zolota metodom magnitno-zhidkostnoj separatsii* (Separation from the products of enrichment of placer gold placers by the method of magnetic-liquid separation) *Tsvetnaya metallurgiya = Non-ferrous metallurgy*. **2017**. 5, 4-13. DOI:dx.doi.org/10.17073/0021-3438/-2017-4-12. (in Russ).
- 20 Ryl'nikova M.V., Ezhov V.A., Nikiforova I.L., Plotnikov S.N. *Ehnergoeffektivnye tekhnologii dobychi i pererabotki zolotonosnykh rud Svetlinskogo mestorozhdeniya* (Energy-efficient technologies for extraction and processing of gold-bearing ores of the Svetlino deposit) *Tsvetnaya metallurgiya = Non-ferrous metallurgy*. **2017**. 9. 35-41. DOI:10.17580./gzh 2017.09.07. (in Russ).
- 21 Lattorre M., Ehrenfeld N., Cortes M.P., Travisany D., Budinish M. Global transcriptional responses of *Acidithiobasillus Ferrooxidans* wenenen under different Sulphide Minerals/21st International Biohydrometallurgy Symposium (IBS). Bali. **2015**. 425-429. (in Eng).

ТҮЙІНДЕМЕ

Қазіргі уақытта алтын өндіру өнеркәсібінің маңызды міндеттерінің бірі өңделуі қиын алтынқұрамды шикізаттардан алтын алу, ірі өңірлерді иеленіп, өңірлердің экологиялық жағдайын нашарлататын қалдықтар. Техногендік шикізаттан алтынды алдын ала өндіруге бағытталған зерттеулер ғылыми және практикалық ғана емес, сондай-ақ әлеуметтік және экологиялық маңызы бар. Шикізатты өңдеу кезінде, алдын-ала тотықтырып (биошаймалау) операциялары пайдаланылады, олардың біреуі *A.Ferrooxidans* ерітіндісін қолдана отырып, құрамында алтын бар шикізаттың био-қышқылы болып табылады. Бұл биототықтыру сульфидтерді терең ашуі арқылы алтынқұрамды кендерден алтын алуға мүмкіндік береді. Сондықтан техногендік шикізаттан алтын алудың тиімділігін арттыруға бағытталған зерттеулер орынды. Мақалада *A.Ferrooxidans* биоерітіндісін қолданып Алтынтау Кокшетау алтын өндіру фабрикасының жатып қалған қалдықтарымен алтын алуға тәжірибелер жасалды. Химиялық, минералдық және рентген фазалық зерттеулер өткізілді. Сынаманың құрамында 8.49 г/т Au және 2.4 г/т Ag бар екендігі анықталды. Әр түрлі шаймалау нұсқалары зерттелді: 1) ұнтақтау кейін цианидтеу 2) алдын ала күкірт қышқылын жуу кезінде цианидті шаймалау; 3) *A.Ferrooxidans* бактериялық ерітіндісімен биоуксып кету. Алдын ала тотығуды және био-қышқылдандыруды қолдану алтын алу көрсеткішін арттыруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде екі сатылы шаймалау арқылы шикізаттың ескі қалдықтарынан алынатын алтынды алдын-ала бактериялы ашу, содан кейін цианидтеу ең тиімді болып табылады. Алғашқы нұсқаға сәйкес ерітінділерде алтынның қалпына келуінің ең жақсы индикаторы 62,7 % алтын, екінші нұсқада натрий хлориді және одан кейінгі цианидті пайдалану – 79 %, биохимиялық технологияның натрий цианидмен үшінші нұсқасында - 82,8 % алтын болды.

Түйін сөздер: алтын өндіруші зауыт, қалдықтар, технология, тотығу, алтын өндіру, бактериялық шаймалау, цианидтеу, гидрометаллургия.

ABSTRACT

The one of the important activities of gold mining industry is the involvement of refractory hard-to-enrich gold-containing raw materials into retreatment, as well as the tailings dams, which occupy huge areas and worsen the ecological state of the regions. The studies are aimed at re-extraction of gold out of technogenic raw materials possess not only scientific and practical, but also social and environmental significance. The pre-oxidation procedures are applied in the retreatment of raw materials, one of which is bio-oxidation of gold-containing raw materials method using *A.Ferroxidans* bio-leaching solution. This method makes it possible to intensify the process of bio-oxidation extraction of gold from gold-containing raw materials due to the deeper development of sulphides. Therefore, the studies aimed at increasing the efficiency of gold re-extraction out of technogenic raw materials are of current interest. The results of researches regarding the extraction of gold out of stale tailings of gold extraction plant Altyntau Kokshetau using *A.Ferroxidans* bio-leaching solution are performed in the article. The chemical, mineral and X-ray phase matter of sample was studied. It has been shown that the sample has a silicate base, represented by quartz, albite-anorthite mixture, muscovite and kaolinite. It has been found that the sample contains 8.49 g / t Au and 2.4 g / t Ag. The different leaching options were carried out: 1) re-grinding is followed by cyanidation; 2) cyanide leaching with preliminary sulfuric acid washing; 3) bio-oxidation using *A.Ferroxidans* bacterial solution. It has been shown that the use of preliminary bio-oxidation makes it possible to increase the gold extraction. As a result, it was found that re-extraction of gold out of the stale tailings of sorption by two-stage leaching - bacterial opening of the raw materials, and then cyanidation are the most effective one. The best indicator of gold extraction in solutions as regards the first option resulted in 62.7 % of gold, at the second option with the use of sodium chloride and the subsequent cyanidation was 79 %, and at the third option of biochemical technology with sodium cyanide was 82.8 % of gold.

Key words: the gold extracting plant, the stale tailings, an oxidation technology, re-extraction of gold, bacterial leaching, cyanidation, hydrometallurgy.

Поступила 02.03.2018.

УДК 622.765

МРНТИ 52.45.19

<https://doi.org/10.31643/2018/6445.3>

**Комплексное использование
минерального сырья. № 2. 2018.**

Д. К. ТУРЫСБЕКОВ¹, Л. В. СЕМУШКИНА^{1,2}, С. М. НАРБЕКОВА^{1}, А. А. МУХАНОВА¹,
Ж. А. КАЛДЫБАЕВА¹*

¹ *Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан, *e-mail: s.narbekova@mail.ru*

² *Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДА ВИННО-ВОДОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ РАЗДЕЛЕНИИ КОЛЛЕКТИВНОГО МЕДНО-СВИНЦОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Received: 17 April 2018 / Peer reviewed: 11 May 2018 / Accepted: 21 May 2018

Резюме: На сегодняшний день одной из актуальных задач в области флотационного обогащения полиметаллических руд является разработка эффективных и селективных реагентов, повышающих извлечение ценных компонентов при снижении затрат на единицу готовой продукции. Из практики флотации известно, что для выделения из полиметаллических руд одноименных концентратов цветных металлов используются технологические схемы получения коллективного концентрата цветных металлов с их последующим селективным разделением на концентраты свинца, меди, цинка. Эффективность селективного разделения коллективных концентратов во многом определяется ассортиментом применяемых флотореагентов. В данной работе изучена возможность использования при селективном разделении коллективного медно-свинцового концентрата отхода вино-водочного производства АО «Бахус». С этой целью изучен состав жидкого отхода и установлено содержание в нем сульфит-ионов, что позволяет заменить сульфит натрия при селективном разделении меди и свинца по сульфитной технологии. В качестве исходного объекта для флотационного селективного разделения использована полиметаллическая руда Артемьевского месторождения с содержанием меди 1,6 %, свинца 2,6 %, цинка 7,2 %, железа 7,8 %. Схема флотации включает в себя медно-свинцовый цикл с получением коллективного медно-свинцового концентрата и цикл селекции коллективного медно-свинцового концентрата. Отход применяют в цикле селекции коллективного медно-свинцового концентрата взамен сульфита натрия. Установлено, что жидкий отход вино-водочного производства позволяет заменить базовый реагент сульфит натрия при одновременном сохранении технологических показателей флотационного обогащения и способствует снижению затрат на переработку полиметаллического сырья.

Ключевые слова: отход вино-водочного производства, сульфит натрия, железный купорос, селективная флотация, коллективный концентрат