қалдықтарын талдау құрлыстық сала үшін портланцемент қождың алу ресурс жинақтаушы технология болып табылады. Жұмыста тазартылған және жоғары көміртекті феррохром өндірісінің қалдықтарын пайдалану мүмкіншілігін қарастырады, сонымен бірге жіңұшты тозаңы газтазартушымен минералды және қож сілтіні байланыстырушының пайда болуы техногенді үстеме сапасымен құрлыс материалдарын алу. Мұндай үстеменің айқындылығы жоғары гидравликалық белсенділікпен және жеткілікті беріктілікпен ие болатын минералдардың қатысуымен анықталады. Гидравликалық белсенділікке ие минералдарды айқындау мақсатымен ферроқорытпа өндірісі қожының минералдық құрамын зерттеуі. Тазартылған және жоғары көміртекті феррохром өндірісінің қождың микрорентгеноспектірлі және рентгенофазалық анализ нәтежелері келтірілген, сонымен бірге жеңұшты тозаң газтазартушы. Қож (шлак) және жеңұшты тозаңында гидравликалық белсенділікке ие минералдардың жоқ екенін зерттеу нәтежелері көрсетті. Сілтілі және феррохром өндірісінің қалдықтарын пайдалану ұсынылды.

Түйін сөздер: феррохром өндірісінің қожы, жеңұшты тозаң, минерологиялық құрам, фазалық құрам.

Summary

One of the trends in the production of mineral binding materials is the use of natural and man-made additives. At the present time it is known that the granulated blast furnace slag is used for obtaining slag-Portland cement in the construction industry. This technology is resource-saving. This paper considers a possibility of using waste of the refined and high-carbon ferrochrome production, as well as baghouse dust of gas cleaning as additives of technogenic origin to mineral and slag-alkaline binders in the production of building materials. The effectiveness of such additive is determined by the presence inside it minerals possessing a high hydraulic activity and sufficient strength. A mineralogical composition of slag from the ferroalloy production has been investigated in order to identify minerals possessing hydraulic activity. The results of the micro-X-ray spectral and X-ray phase analyses of slag from the refined and high-carbon ferrochrome production as well as baghouse dust from gas cleaning are given in the paper. The research results showed that minerals possessing hydraulic activity are absent in slag and baghouse dust. It is recommended to use of wastes of the ferrochrome production with application of alkaline and sulfate activating agents.

Key words: ferrochrome production slag; baghouse dust; mineralogical composition; phase composition, mineral binding materials

Поступила 25. 04. 2013.

УДК 622.772:669.21:573.6.086

Комплексное использование минерального сырья. № 2. 2013.

Г.В.СЕМЕНЧЕНКО, Д.Р.МАГОМЕДОВ, А.Т. АБУБАКРИЕВ*

АО « Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», г. Алматы
*ao.cnzmo@rambler.ru

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОТВАЛОВ АКБАКАЙСКОЙ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Проведены исследования по биохимическому выщелачиванию отвалов золотоизвлекательной фабрики популяциями литотрофных бактерий. Показано преимущество предварительной обработки отвалов смешанной культурой ацидофильных (*Acidithiobacillus*

ferrooxidans) и гетеротрофных (*Pseudomonas aureofaciens*) бактерий. Определено оптимальное соотношение видов бактерий, длительность предобработки, подобран эффективный выщелачивающий агент, исследовано влияние степени измельчения отвалов на выход благородных металлов. Технология позволяет извлечь из отвалов свыше 90% золота. Основными преимуществами предложенного способа являются его простота и эффективность. Переработка токсичных отходов производства позволит также значительно сократить антропогенный прессинг на окружающую среду.

Ключевые слова: биовыщелачивание, благородные металлы, ацидофилы, гетеротрофы

Введение. Известно, что запасы золота в недрах земли составляют около 60,4 тыс.т. В 2009 году в мире было добыто 9,35 тыс. т. ‹‹желтого металла». При сохранении золотодобычи на том же уровне промышленные запасы золота могут быть полностью выбраны через 26 лет и, возможно, еще раньше. В настоящее время добыча драгоценного металла во всем мире растет, чему способствует повышенный спрос и высокие цены на золото [1].

Частично замедлить темпы убывания запасов золота позволило бы более активное вовлечение в отработку техногенных месторождений. Организация переработки промпродуктов, оборотных материалов и отходов обогатительных фабрик и металлургических предприятий окажет благоприятное воздействие на окружающую среду. Вовлечение в переработку вторичного (техногенного) металлосодержащего сырья из заводских отвалов очистит территорию предприятий и промышленных городов, предотвратит поступление металлов и их соединений с ливневыми стоками в прилегающий водный бассейн, а также значительно снизит поступление металлосодержащей пыли в атмосферу. По расчетам специалистов капиталовложения в мероприятия, обеспечивающие повышение комплексности использования сырья, окупаются в 1,5-2 раза быстрее, чем капиталовложения в строительство новых заводов [2,3].

О перспективах переработки этих сырьевых источников можно судить по тому, что только в США ежегодно от золотоизвлекательных фабрик в отвалы поступает примерно 1 млрд. т хвостов, содержащих в среднем 0,45 г/т Au, что эквивалентно 450 т золота. На обогатительных фабриках Урала в хвостохранилищах накоплены сотни миллионов тонн сульфидных хвостов обогащения, содержащих 150 т золота при среднем содержании 0,8-1,2 г/т Au. Кроме того, отвалы могут содержать промышленные количества таких металлов, как медь, молибден, серебро, уран и др. При переработке этого вида сырья не требуются сложные горные энергоемкие работы, что определяет низкую себестоимость извлечения золота и делает рентабельной переработку отвалов, содержащих не более 0,2-1,0 г/т Au [4].

Для успешного использования биовыщелачивания при переработке упорных руд в мире наметилась тенденция использования смешанной популяция микроорганизмов. Известно, что в биогидрометаллургических технологиях извлечения золота из концентратов упорных сульфидных руд участвуют сообщества ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов, получающих энергию путем окисления сульфидных минералов, закисного железа, элементарной серы и ее восстановленных соединений при низких значениях pH (1,2 - 4,5). В эту группу

микроорганизмов входят представители родов грамотрицательных (*Acidithiobacillus*, *Leptospirillum*), грамположительных (*Sulfobacillus*) бактерий, архей (*Sulfolobus, Ferroplasma*), а так же гетеротрофных бактерий, растущих в мезофильных, умеренно термофильных или термофильных условиях. Основными факторами, определяющими видовой состав сообществ ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов, являются температура, концентрация ионов металлов и уровень аэрации выщелачиваемого субстрата. В технологических процессах действуют еще несколько факторов: плотность пульпы, наличие органических веществ и особенности режима процесса. Генетическая гетерогенность техногенных сообществ хемолитотрофных микроорганизмов позволяет им адаптироваться к изменениям химического состава субстрата, поступающего на окисление [5,6].

В хвостохранилищах акбакайского ГМК в настоящее время скопилось несколько миллионов тонн отвалов золотоизвлекательной фабрики. Содержание золота в них местами доходит до 6 г/т из-за использования при выщелачивании золота богатых гравитационных концентратов с содержанием золота до 60-70 г/т. После реконструкции фабрики были предприняты попытки перерабатывать эти отвалы с целью извлечения благородных металлов с помощью обычных методов цианирования, а также биовыщелачиванием тионовыми бактериями. Однако, цианирование окомкованных отвалов оказалось неэффективным, а использование бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* невозможно из-за их чувствительности к высокой минерализации местной воды из источника Бескемпир. Для развития же гетеротрофных бактерий *Pseudomonas aureofaciens,* используемых ранее для повышения эффективности выщелачивания золота из флотационного концентрата, данная вода вполне пригодна [7]. Использование смешанной популяции тионовых и гетеротрофных бактерий для разработки технологии биохимического выщелачивания позволит усилить действие гетеротрофных бактерий при воздействии на такой сложный объект как отвал золотоизвлекательной фабрики и нейтрализовать все вещества, тормозящие развитие тионовых бактерий.

Цель работы: разработка технологии биохимического извлечения золота из отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики на основе использования смешанной популяции литотрофных бактерий.

Экспериментальная часть. На первом этапе работ стояла задача изучить влияние смешанной популяции гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов для выщелачивания золота из отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики, а также подбор эффективного выщелачивающего агента. Состав сырья: г/т, Au – 2,2; Ag - 11,2; % Cu - 0,058; Fe - 7,8; Co - 0,008; Ni - 0,002; Zn -0,016; Ca - 7,1; SiO_2 - 47,6; Al_2O_3 - 19,8; S - 4,9; As - 1,8; Sb - 0,1. Крупность измельчения: +0 - 0,045 мм – 20%; +0,045 – 2мм – 80%.

В экспериментах было исследовано бактериальное вскрытие отвалов смесью тионовых и гетеротрофных бактерий в различных пропорциях, контролем служили монокультуры вышеназванных бактерий. Длительность вскрытия - 5 часов с последующей двухкратной отмывкой и выщелачиванием в две стадии в течение 16 часов. Опыты проводили в агитационном режиме, Т:Ж = 1:2, t – 20 ºС, интенсивность

перемешивания – 250 об./мин. Концентрация бактерий при предобработке – 10^8 кл./см^3, соотношение бактерий варьировало в пределах 0-100%.

Выщелачивание проводили тиосульфатом, тиомочевиной и коплексным выщелачивающим агентом. Концентрации тиосульфата и тиомочевины - 0,3 моль/дм^3, указанные реагенты были взяты с избытком для отслеживания окисления серы при выщелачивании золота. Состав комплексного выщелачивающего раствора: культуральная жидкость гетеротрофных бактерий с титром 10^6 кл./см^3, цианид, аминокислота и роданид в концентрации 0,04 М. Соотношение компонентов: цианид: роданид:серин: 2,5:1:2,5 было отработано предварительно [8].

Результаты представлены в таблице 1, из которой видно, что наибольший выход золота был в 1-м варианте при выщелачивании тиосульфатом, ряд активности при этом имел вид 1>5>2>3>4. При выщелачивании комплексным выщелачивающим раствором наилучшим был вариант 3 в ряду активности 3>1>4>2>5. В случае использования тиомочевины ряд активности был 4>1>2>5<3.

Для выщелачивания серебра наилучшие результаты были получены при использовании комплексного выщелачивающего раствора, ряд активности- 4>1>3>5>2, причем, этот вариант был лучшим для выхода железа – до 20 мг/дм^3. При выщелачивании серебра тиосульфатом был получен ряд активности 1>3>2>4>5. При использовании тиомочевины - ряд активности был 3>1>2>4>5, в данном случае отмечен наибольший выход меди – до 47,6 мг/дм^3.

Таблица 1 - Влияние смешанной популяции бактерий на извлечение золота из отвалов акбакайской ЗИФ

№	Соотношение бактерий (%) при предобработке		Извлечение золота (%) при выщелачивании			Извлечение серебра (%) при выщелачивании		
	T.f.	T10	TM	КБВР	TS	TM	КБВР	TS
1	100	0	44,9	57,7	58,0	11,6	41,5	23,0
2	90	10	40,3	48,0	55,9	10,5	36,0	18,2
3	50	50	33,1	60,0	43,9	17,4	39,9	18,5
4	10	90	53,8	48,7	42,3	7,5	43,3	16,7
5	0	100	37,3	45,0	55,9	5,9	38,8	13,8

TM – тиомочевина, TS - тиосульфат
КВБР – комплексный выщелачивающий биохимический раствор
T.f. – *Acidithiobacillus ferrooxidans*; T 10 – *Pseudomonas aureofaciens*

Для оценки эффективного использования растворителей, а также компонентов, входящих в состав комплексных выщелачивающих растворов, было определено остаточное содержание соединений серы. Результаты представлены в таблице 2. Установлено, что при выщелачивании тиомочевиной в растворе накапливается тиосульфат, особенно в 1-м варианте, сам ряд активности имеет вид: 1>4>3>2;5. Роданид в данной системе растворения не образуется.

При выщелачивании комплексным выщелачивающим раствором в первые 8 часов идет накопление тиосульфата (почти в 600 – 700 раз меньшее, чем в случае

использования тиомочевины), в течение всего процесса присутствует роданид (в концентрациях, примерно в 2 раза меньших по сравнению с тиосульфатом) с рядом активности 1>4>3;5>2.

При выщелачивании тиосульфатом в растворах присутствует практически только его остаточное количество и некоторое количество роданида в 5-м, бактериальном варианте, отражающим активность самой культуры по синтезу роданида.

Оценивая влияние соотношения двух видов бактерий при предобработке, можно отметить, что вариант с соотношением ацидофилов и гетеротрофных бактерий при предобработке 50:50 % с последующим выщелачиванием комплексным раствором был наилучшим. При увеличении доли гетеротрофов до 90 % возросла степень выхода серебра (таблица 1). Предобработка ацидофилами и гетеротрофными бактериями в пропорции 10:90% была эффективной для последующего выщелачивания тиомочевиной. Для тиосульфатного выщелачивания предпочтительна предобработка *Acidithiobacillus ferrooxidans.*

Таблица 2 – Остаточное содержание соединений серы при использовании смешанной популяции бактерий при выщелачивании отвалов ЗИФ

№	Варианты		Концентрация соединений серы при выщелачивании тиомочевиной					
			$S_2O_3^{2-}$, г/дм^3		SCN^-, мг/дм^3		SO_4^{2-}, г/дм^3	
	T.f.	T10	8ч.	16ч.	8ч.	16ч.	8ч.	16ч
1	100	0	0	81,2	0,55	0	0,8	0
2	90	10	67,2	70,0	0	0	0,18	0,18
3	50	50	67,2	72,8	0	0,43	0,14	0,09
4	10	90	67,2	77,0	0	0	0,045	0,14
5	0	100	0	70,0	0	0	0	0
№	Варианты		Концентрация соединений серы при выщелачивании КБВР					
			$S_2O_3^{2-}$, г/дм^3		SCN^-, мг/дм^3		SO_4^{2-}, г/дм^3	
	T.f.	T10	8ч.	16ч	8ч.	16ч.	8ч.	16ч.
1	100	0	0,12	0,056	140,0	90,3	0,6	0,05
2	90	10	0,11	0,056	71,0	85,7	0,7	0
3	50	50	0,14	0,07	35,0	87, 0	0,9	0,05
4	10	90	0,19	0,08	66,0	97,5	0,15	0
5	0	100	0,16	0	30,0	87,0	0	0
№	Варианты		Концентрация соединений серы при выщелачивании TS					
			$S_2O_3^{2-}$, г/дм^3		SCN^-,мг/дм^3		SO_4^{2-}, г/дм^3	
	T.f.	T10	8ч.	16ч	8ч.	16ч	8ч.	16ч.
1	100	0	23,9	27,6	0,01	0,22	0	0
2	90	10	18,9	28,1	0	0,08	0	0
3	50	50	20,7	27,4	0,19	0	0	0
4	10	90	22,0	25,5	0	0,23	0	0
5	0	100	17,3	27,9	3,0	0,38	0	0

Таким образом, наилучшие результаты по выщелачиванию золота из отвалов золотоизвлекательной фабрики были получены в варианте с предобработкой смешанной культурой ацидофильных и гетеротрофных бактерий с последующим выщелачиванием комплексным раствором.

Во второй серии экспериментов было определено влияние крупности измельчения отвалов на степень выхода благородных металлов. Эксперименты проводили по описанной ранее методике, длительность предобработки была увеличена до 120 часов, а выщелачивание проводили в 3 стадии по 8 часов.

Результаты представлены в таблице 3, из которой следует, что выщелачивание благородных металлов из отвалов тиосульфатом, цианидом и КБВР не требует тонкого измельчения. Существенно улучшает ситуацию предобработка. С увеличением длительности предварительного воздействия на отвалы с 5 часов до 5 суток извлечение золота повысилось на 23%, серебра – на 61 %. Как и в предыдущих исследованиях, наилучшие результаты были получены при использовании смешанной популяции ацидофильных и гетеротрофных бактерий.

Таблица 3 – Влияние крупности измельчения на извлечение благородных металлов из отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики

№ п/п	Крупность измельчения, мм	Варианты предобработки	Выщелачивающий агент	Извлечение, %	
				Au	Ag
1	0,045	T.f.	Тиосульфат	51,2	10,1
2	0,045	T.f.+P.a.	Тиосульфат	51,7	8,9
3	0,045	P.a.	Тиосульфат	44,1	8,6
4	0,045	T.f.	КБВР	37,0	39,7
5	0,045	T.f.+P.a	КБВР	41,7	24,8
6	0,045	P.a	КБВР	22,9	28,6
7	0,045	T.f.	Цианид	16,8	36,6
8	0,045	T.f.+ P.a.	Цианид	15,8	27,1
9	0,045	P.a	Цианид	8,7	23,2
10	до 2,0	T.f.	Тиосульфат	59,5	12,2
11	до 2,0	T.f.+ P.a.	Тиосульфат	48,0	9,5
12	до 2,0	P.a.	Тиосульфат	45,3	17,4
13	до 2,0	T.f.	КБВР	72,3	33,3
14	до 2,0	T.f.+ P.a.	КБВР	73,8	35,0
15	до 2,0	P.a.	КБВР	49,0	33,2
16	до 2,0	T.f.	Цианид	31,7	46,5
17	до 2,0	T.f. + P.a	Цианид	27,1	47,5
18	до 2,0	P.a.	Цианид	23,5	38,9
Примечание: T.f – *Acidithiobacillus ferrooxidans*, P.a. – *Pseudomonas aureofaciens*, КБВР – комплексный биохимический выщелачивающий раствор					

При анализе полноты использования роданида (таблица 4) выяснилось, что примерно 7 – 8% реагента недоиспользуется, то же самое характерно и для тиосульфата. Поскольку эти агенты выщелачивания в лабораторных опытах взяты с

избытком, то для реального расчета их расхода необходимо учитывать их остаточное количество во избежание перерасхода.

Таблица 4 – Остаточное содержание соединений серы при выщелачивании отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики

№ п/п	Крупность измельчения, мм	Варианты предобработки	Выщелачивающий агент	Концентрация соединений серы, г/дм^3					
				$S_2O_3^{2-}$, мг/дм^3		SCN^-, мг/дм^3		SO_4^{2-}, мг/дм^3	
				8 ч.	16 ч.	8 ч.	16 ч.	8 ч.	16 ч.
1	0,045	T.f.	Тиосульфат	21,1	20,2	0,38	н/о	4,9	5,59
2	0,045	T.f.+P.a.	Тиосульфат	21,3	20,2	н/о	н/о	4,9	3,29
3	0,045	P.a.	Тиосульфат	18,2	20,2	н/о	н/о	1,07	0,66
4	0,045	T.f.	КБВР	1,26	1,4	860,0	935,0	4,13	4,07
5	0,045	T.f.+P.a	КБВР	0,42	0,7	910,0	949,0	4,28	3,37
6	0,045	P.a	КБВР	0,56	0,56	830,0	850,0	0,08	н/о
7	0,045	T.f.	Цианид	0,7	0,56	3,1	0,8	3,87	3,29
8	0,045	T.f.+ P.a.	Цианид	0,56	0,35	1,2	0,7	3,46	2,52
9	0,045	P.a	Цианид	0,56	0,35	0,52	0,65	0,25	0,08
10	до 2,0	T.f.	Тиосульфат	18,7	22,2	н/о	н/о	5,6	4,92
11	до 2,0	T.f.+ P.a.	Тиосульфат	21,8	20,5	н/о	н/о	4,66	2,82
12	до 2,0	P.a.	Тиосульфат	19,8	2,4	н/о	н/о	0,74	0,65
13	до 2,0	T.f.	КБВР	0,24	0,4	910,0	1000,0	6,81	5,93
14	до 2,0	T.f.+ P.a.	КБВР	0,3	0,45	880,0	1350,0	6,64	3,23
15	до 2,0	P.a.	КБВР	0,3	0,45	910,0	1100,0	0,26	0,15
16	до 2,0	T.f.	Цианид	0,06	0,11	2,3	2,4	2,99	3,2
17	до 2,0	T.f. + P.a	Цианид	0,18	0,28	2,8	1,9	3,28	2,91
18	до 2,0	P.a.	Цианид	0,06	0,11	1,2	1,4	0,12	0,08
Примечание: T.f – *Acidithiobacillus ferrooxidans*, P.a. – *Pseudomonas aureofaciens*, КБВР – комплексный биохимический выщелачивающий раствор									

С вариантом предобработки отвалов смешанной популяцией ацидофильных бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* и гетеротрофных - *Pseudomonas aureofaciens* были проведены укрупнено-лабораторные испытания. Соотношение концентраций испытуемых видов - 1:1, длительность предобработки – 120 час., Т:Ж=1:4. По окончании предобработки пробу фильтровали, промывали, доводили pH до 9,8 и выщелачивали комплексным биохимическим выщелачивающим раствором.

Исследования показали достаточно высокое извлечение золота (таблица 5), причем, свыше 70% золота и около 80% серебра было извлечено уже в первые 8 – 16 часов (рисунок 1,1). Серебро извлекается более активно (рисунок 1,2) , но общий выход его к концу исследованного периода остается низким, вероятно, из-за образования пленок – вторичных соединений Sb_2S_3 и Ag_2S [9,10].

Извлечение меди и железа низкое, не превышает 1%. Отмечено значительное окисление серы до конечного продукта – сульфата, что связано с присутствием ацидофильных бактерий (таблица 6). Хотя их активность в щелочных условиях практически нулевая, но в период предобработки они вскрыли значительное

количество сульфидных минералов, что и послужило мощным стимулом к активному окислению серы.

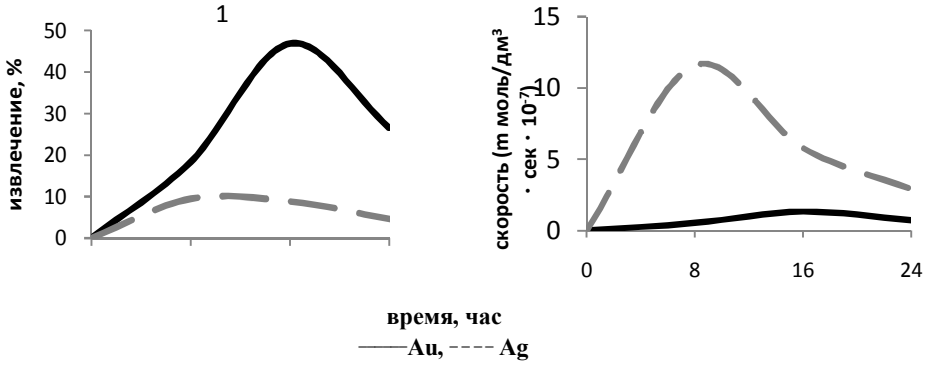

Рисунок 1 – Кинетика извлечения (1) и изменение скорости выщелачивания (2) благородных металлов из отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики

Таблица 5 - Извлечение благородных и сопутствующих металлов из отвалов ЗИФ акбакайского ГМК в условиях укрупнено-лабораторных испытаний

Длительность, час	Извлечение металлов, %			
	Au	Ag	Cu ($x10^{-2}$)	Fe ($x10^{-4}$)
8	18,4	9,5	3,5	1,3
16	65,2	18,3	6,6	5,4
24	91,8	22,9	8,3	8,8

Таблица 6 – Остаточное содержание соединений серы в условиях укрупнено-лабораторных испытаний отвалов ЗИФ акбакайского ГМК

Длительность, час	Остаточное содержание элементов, г/дм^3		
	SCN	S_2O_3	SO_4
8	0,136	0,084	4,89
16	0,235	0,084	4,52
24	0,186	0,084	4,16

Таким образом, выбран наиболее приемлемый для условий Акбакайского месторождения вариант переработки складированных отходов, заключающийся в предварительной обработке материала смешанной популяцией бактерий с последующим выщелачиванием комплексным выщелачивающим раствором.

Обсуждение результатов. Как показывает практика зарубежных предприятий, техногенные месторождения могут стать дополнительным источником ценных металлов. Единственным препятствием на пути утилизации лежалых хвостов являются разнообразные окисленные пленки, образовавшиеся в процессе переработки и длительного хранения в условиях доступа воздуха. Как известно, основу материала хвостовых отвалов составляют кварц (70-90%), силикаты типа

серицита (10-30%) и небольшие количества (1-2%) первичных минералов – пирита, арсенопирита и кальцита. Золото может находиться в четырех формах: в виде самостоятельных минералов, в субмикроскопическом и поверхностно-связанном состояниях и в виде водорастворимых солей. Свободное золото обычно покрыто пленками гидроксидов железа, золото также может присутствовать в виде амальгамы. Кроме того, в отвальных хвостах могут присутствовать золотосодержащая щепа и органические вещества (в том числе флотационные реагенты) [4]. В таких условиях необходим комплексный подход для их дальнейшего передела. Энергичный бактериальный окислитель вида *Acidithiobacillus ferrooxidans*, обычно используемый на ряде зарубежных предприятий, в условиях Акбакайского месторождения неактивен по причине высокой минерализации воды. Использование смешанной популяции бактерий в данном случае полностью подтвердило идею о возможности активизации тионовых бактерий при их совместном культивировании с устойчивыми гетеротрофными бактериями.

Известно, что отвалы ЗИФ в течение длительного времени хранятся в хвостохранилище и в них может развиться естественная популяция ацидофильных бактерий. Таким образом, на практике обработка отвалов может включать лишь активизацию естественных ацидофилов введением культуральной жидкости гетеротрофных бактерий, в результате чего отпадает необходимость в выращивании ацидофилов в чистой культуре, что с использованием местной минерализованной воды источника Бескемпир на акбакайском ГМК невозможно. В настоящее время на Акбакайском месторождении проведена реконструкция золотоизвлекательной фабрики, которая работает именно на отходах производства, складированных в хвостохранилищах, в связи с чем актуальность представленных в данной работе исследований возрастает с точки зрения использования этих результатов в производственных процессах.

Выводы. Предобработка отвалов золотоизвлекательной фабрики смешанной популяцией ацидофильных бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* и гетеротрофных - *Pseudomonas aureofaciens* позволяет извлечь 91,8% золота за 24 часа выщелачивания комплексным биохимическим выщелачивающим раствором.

Эффективность выщелачивания зависит от длительности предобработки при крупности измельчения до 2 мм и соотношения Т:Ж=1:4, сверхтонкого измельчения не требуется.

ЛИТЕРАТУРА

1 Луняшин П. Когда закончится золото… Техногенные россыпи могут стать компенсирующей сырьевой базой // Металлы Евразии. - 2011. - №1. - С. 44-46 .

2 Галиев С.Ж., Едыгенов Е.К. Приоритетные направления решения проблем горной науки и горнодобывающей отрасли промышленности на современном этапе. Казахстанский горнопромышленный Портал.[Электр. ресурс] – 2004-2013, URL/http://mining.KZ/2013-04-17-/item/495/32html (дата обращения 06.05.2013)

3 Такежанов С.Т., Ерофеев И.Е. Концепция «Комплекс технико-экономического развития цветной металлургии Казахстана». - Алматы.:Кітап, 2001, - 136 с.

4 Меретуков М.А., Гурин К.К. Поведение золота в хвостовых отвалах //Цветные металлы.- 2011. - №7. - С. 27-31.

5 Кондратьева Т.Ф., Пивоварова Т.А., Цаплина И.А., Журавлева А.Е., Булаев А.Г. Гетерогенность сообществ ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов в биогидрометаллургических технологиях окисления концентратов упорных золотосодержащих сульфидных руд.//Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения 2011): Матер. Междунар. совещ., Верхняя Пышма, 19-24 сент. 2011. - Екатеринбург: Форт-Диалог-Исеть. 2011. - С. 341-345.

6 Harrison Susan T.L., Becker Megan, van Hille Robert P. In situ investigation and visualization of microbial attachment and colonization in a heap bioleach environment: The novel biofilm reactor. Africa Cindy-Jade //Miner. Eng. - 2010. - Vol. 23. №6. - P. 486-491.

7 Пат. 11409 РК. Штамм бактерий "*Pseudomonas aureofaciens* Т-10 ИмиО", растворяющий золото из сульфидсодержащих руд и концентратов. /Кенжалиев Б.К., Абдрашитова С.А., Абдуллина Г.Г., Игнатьев М.М., Абсалямов Х.К., Семенченко Г.В.; опубл. 15.04.2002., Бюл. № 1-2 с.

8 Пат. 22781 РК. Способ переработки упорного золото,- серебросодержащего сырья /Семенченко Г.В.,Мукушева А.С., Беркинбаева А.Н.;.опубл.15.05.12., Бюл. № 5 - 2 с.

9 Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. - М:МИСИС. Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – Кн.1.- 432 с.

10 Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. - М: МИСИС. Издательский дом «Руда и металлы», 2005., - Кн.2. - 392 с.

REFERENCES

1 Lunyashin P. *Metally Evroazii*, **2011,** *1,* 44-46 (in Russ).

2 Galiev S.Zh., Edygenov E.K. Prioritetnye napravlenija reshenija problem gornoj nauki i gornodobyvajushhej otrasli promyshlennosti na sovremennom jetape. Kazahstanskij gornopromyshlennyj Portal.[Jelektr. resurs]. 2004-2013**,** www.mining.KZ/32html., **06.05.2013**, (in Russ).

3 Takezhanov S.T., Erofeev I.E. *Koncepcija Kompleks tehniko-jekonomicheskogo razvitija cvetnoj metallurgii Kazahstana Almaty:Kitap,* **2001**, 136 (in Russ).

4 Meretukov M.A., Gurin K.K. *Tsvetnye metally*, **2011**, 7, 27-31 (in Russ).

5 Kondratieva T.F., Pivovarov T.A., Tsaplina I.A., Zhuravleva A.E., Bulaev A.G. *Mater. Mezhdunar. Sovesch.*, Verhnjaja Pyshma, **19-24 sent. 2011**. - Ekaterinburg: Fort-Dialog-Iset'. **2011**, 341-345 (in Russ).

6 Harrison Susan T.L., Becker Megan, van Hille Robert P. *In situ investigation and visualization of microbial attachment and colonization in a heap bioleach environment: The novel biofilm reactor. Africa Cindy-Jade.Miner. Eng*. **2010,** *v. 23. 6*. 486-491. (in Eng.).

7 Pat. 11409 KZ. Kenzhaliev B.K., Abdrashitova S.A., Abdullina G.G., Ignatev M.M., Absalyamov H.K., Semenchenko G.V.,**15.01.2004.** bul. 1. (in Russ).

8 Pat. 22781 KZ. Semenchenko G.V., Mukusheva A.S., Berkinbaeva A.N.,**15.05.2012**. bul. 5. (in Russ).

9 Kotlyar Yu.A., Meretukov M.A., Strizhko L.S. *Metallurgija blagorodnyh metallov. M: MISIS Ruda i metal,* **2005**, *1*. 432 (in Russ).

10 Kotlyar Yu.A., Meretukov M.A., Strizhko L.S. M: *Metallurgiya blagorodnyh metallov. M: MISIS Ruda i metally,* **2005**, *2*. 392. (in Russ).

Түйіндеме

Алтын алу өндірісінің қалдықтарын биохимиялық шаймалап, литотрофты бактерияларды көбейтудің зерттеулері жүргізілді.Қалдықтарды аралас ацедофильді (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) гетеротрофты (*Pseudomanas aureofaciens*) бактерияларымен алдын-ала өңдеудің артықшылықтары көрсетілді. Бактериялардың тиімдісі анықталып, алдын-ала өңдеудің ең тиімді шаймалау агенті, майдаланған қалдықтардың асыл металдарға әсерізерттелді. Бұл әдіс қалдықтардан 90% алтын алуға болатынын дәлелдеді. Бұл әдістің негізгі артықшылығы оның қарапайымдылығы мен тиімділігінде. Аталған өндіріс қалдықтарын өңдеу қоршаған ортаға зиянсыз.

Түйін сөздер: биошаймалау, асыл металдар, ацедофильді, гетеротрофты бактерияларымен

Summary

Investigations on gold biochemical leaching from gold extracting factory dumps by populations of lithotrophic bacteria are carried out. Advantage of preliminary processing of dumps with the mixed culture of acidophilic (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) and heterotrophic (*Pseudomonas aureofaciens*) bacteria is shown. The optimum ratio of species of bacteria, duration of preprocessing and the effective leaching solution are determined. Influence of dumps crushing degree on a noble metals extraction is investigated. The technology allows taking from dumps more than 90 % of gold. The basic advantages of the offered method are its simplicity and efficiency. Processing of toxic production wastes will allow considerable reducing anthropogenous pressure to environment as well.

Key words: bioleaching, noble metals, acidophilic bacteria, heterotrophic bacteria

Поступила 02. 05. 2013.