

## Экспериментальное исследование выщелачивания золотосодержащей руды в Лаосе с помощью экологически безопасных реагентов «Jinchan»

Го Пэнчжи, Цю Ша, У Ипэн, Кан Вэйпан

Северо-китайское бюро геологоразведочных работ в Тяньцзине, Тяньцзинь, 300170, Китай

**Краткое изложение:** для эксперимента по выщелачиванию золота с использованием экологически чистых реагентов «Jinchan» было выбрано месторождение руды золото-карбонатного типа Б.Фантэм (B. Phatem) в округе Бак-оу провинции Луангпхабанг в Лаосе. Результаты показывают, что при условии тонкости помола 0.074 мм, выгода более 90%, концентрация пульпы - 40%, дозировка извести - 3 кг/т, время предварительной обработки щелочью - 2 часа, дозировка реагентов «Jinchan» - 600 г/т, время выщелачивания - 24 часа, скорость выщелачивания золота до 96,40%. В сравнении с выщелачиванием цианированием, эффективность выщелачивания золота с «Jinchan» увеличивается на 1,4%, в то время как объем дозировки уменьшается на 200 г/т, а время выщелачивания сокращается более чем на 12 часов. Проведен анализ токсичности хвостов. Результаты показывают, что количество цианида, Pb, Zn, As в хвостах было ниже ограничений государственного стандарта. Следовательно, хвосты выщелачивания могут непосредственно выгружаться без детоксикационной обработки. Сравнительный экономический анализ показывает, что процесс выщелачивания с «Jinchan» может снизить производственные затраты на 3 930 000 юаней в год.

**Ключевые слова:** реагент для обогащения золота, “Jinchan” («Цзиньчань»), выщелачивание цианированием, токсичность выщелачивания

**Дата получения:** 07.02.2015

**Представление автора:** Го Пэнчжи (1971 -), мужчина, Шанцю, провинция Хэнань, магистр, старший инженер по обогащению, помощник комиссара Северо-китайского бюро геологоразведочных работ в Тяньцзине, в основном занимается управлением шахтами, исследованиями в области разработки и использования ресурсов, деловым администрированием и другой деятельностью.

На Китайской международной конференции горнодобывающей промышленности 2007 года Министерство земельных и природных ресурсов поставило задачу «зеленой» добычи полезных ископаемых с целью скоординированной разработки минеральных ресурсов и защиты окружающей среды (Лю, 2011). В соответствии с этим новым требованием и развивающейся ситуацией, все больше и больше внимания уделяется исследованию и применению технологии бесцианидного выщелачивания золота. В настоящее время существует много методов бесцианидного выщелачивания золота, включая метод тиокарбамида (Го и др., 1994; Ли и др., 2014), метод тиосульфата (Эльмер и др., 2001), метод галогенирования (Ли и др., 2004), микробиологический метод, метод LSSS и т. д. (Ян и др., 2007; Ван и др., 2010; Ли и др., 1992).

Но в этих процессах обычно используется большое количество дорогостоящих лекарственных средств, которые нельзя применять в промышленности (Кеннет, 1992). В

последние годы сообщалось о новом экологически чистом реагенте для выщелачивания золота (Хуан, 2011; Цюе, 2011, Тэн и др., 2012; Сюн, 2013; Лю и др., 2013). На внутреннем рынке появились новые экологически чистые реагенты для выщелачивания золота, такие как «Северо-восточный тигр», «Цикада», «Цзинь Синь». Затем разработки экологических, выщелачивающих золото реагентов, вступили в стадию бурного развития. Месторождение золота Б.Фантэм (B. Phatem) в округе Бак-оу провинции Луангпхабанг в Лаосе, расположено в районе с хорошо развитой водной системой и большим количеством подземных карстовых пещер. Для того, чтобы уменьшить загрязнение окружающей среды, снизить риски и обеспечить меры безопасности для проекта разработки рудника, необходимо проводить экологически безопасное выщелачивание золота.

В этой статье описан эксперимент по выщелачиванию с экологически чистыми агентами “Jinchan”, примененный к месторождению золота Б.Фантэм (B. Phatem) в округе Бак-оу провинции Луангпхабанг в Лаосе.

## 1. Характеристики руды

### 1.1 Многоэлементный анализ руды

Результаты многоэлементного анализа руды показаны в Таблице 1. Показатели указывают на то, что единственным ценным элементом в руде является золото с содержанием 7,5 г/т с небольшим количеством серебра, а содержание меди, свинца, цинка, мышьяка и других элементов в руде очень низкое. Содержание углерода в руде составляет 10,94%, но дальнейший анализ показывает, что углерод, в основном, представляет собой неорганический углерод, который не влияет на выщелачивание цианидами.

### 1.2 Минеральные составляющие руды

Основной минеральный состав руды показан в Таблице 2. Вышеуказанные характеристики руды доказывают, что месторождение золота относится к типу углеродного золотоносного, а минеральный состав относительно прост. Содержание мышьяка и других вредных примесей незначительное, а содержание крупнозернистого золота в руде - низкое. Золото в руде вкраплено в средние и мелкие гранулы, а его содержание - очень низкое. Частицы золота в основном находятся в состоянии диссоциации мономера и обнажены.

Таблица 1. Результаты многоэлементного анализа руды (%)

элементы	Au*	Ag*	Cu	Pb	Zn
содержание	7.5	2.86	0.005	0.007	0.001
элементы	S	TFe	As	C	CaO
содержание	0.17	0.15	0.007	10.94	52.06
элементы	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
содержание	0.34	5.47	0.24		

Прим.: единица измерения Au, Ag – г/т.

Таблица 2. Основной минеральный состав руды

	Минералы	Относительное содержание (%)
Металлическая руда	Пирит	0.05
	Арсенопирит	0.01
	Медные минералы	0.10 0.52
	Лимонит	0.2
	Другая окисленная железная руда	0.16
	кварц	4.56
Неметаллические минералы	Кальцит, доломит и другие карбонатные минералы	89.12 99.48
	Серицит, хлорит	5.80
ИТОГО		100

При разработке проекта месторождения руды золото-карбонатного типа Б.Фантэм (B. Phatem) в округе Бак-оу провинции Луангпхабанг в Лаосе был выбран процесс цианидного выщелачивания комплексной мелкой породы согласно характеристикам золотосодержащей руды. Технологический процесс - это четырехэтапный и пятиэтапный процесс выщелачивания.

Тонкость помола составляет 0.074 мм, а минералы металлов, в основном, представляют собой лимонит с содержанием 0,36%, а также небольшое количество пирита, меди и арсенопирита. Полезные ископаемые - это карбонатные минералы, такие как кальцит и доломит с содержанием до 89,12%; второстепенными минералами являются кварц, серицит и хлорит.

### 1.3 Залегание золота

Проведен анализ руды фазовым химическим методом, изучено состояние золотосодержащих минералов. Результаты анализа, приведенные в таблице 3 обозначают, что золото в руде присутствует в одиночной форме, а содержание связанного золота очень мало - 3,74%. В том числе, относительное содержание связанного золота в кварце и силикатном минерале составляет 1,34%, а относительное содержание связанного золота в сульфидном месторождении равно 2,40%. Другой вопрос – выходящее или частично выходящее на поверхность золото с содержанием 7,2 г/т, которое составляет 96,26% от общего золота в сырой руде.

Таблица 3. Результаты фазового анализа золота

Фаза золота	Содержание (г/т)	Относительное содержание (%)
Включение золота в кварц и силикат	0.10	1.34
Включение золота в пирит	0.00	0.00
Включение золота в лимонит	0.00	0.00
Включение золота в сульфидные минералы	0.18	2.40
Включение золота в карбонатные минералы	0.00	0.00
Золото, выходящее и частично выходящее на поверхность	7.20	96.26
Итого	7.48	100.00

#### 1.4 Характеристики крупности частиц золота

Основываясь на микроскопических исследованиях и анализе искусственных россыпей, золотосодержащие минералы в рудах, в основном, средние и мелкозернистые, рассеянные, а частицы крупнозернистого золота и микровключения золота незначительны. В том числе, содержание золота с размером частиц 0.037-0.074 мм составляет до 61,2%, а содержание золота с размером частиц 0.074-0.01 мм - до 24,84%. Однако содержание золота с размером частиц менее 0.01 мм - низкое и составляет всего 5,64%. Статистические результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты измерения размера частиц

Размерность зерен (мм)	Крупное	Среднее	Мелкое	Тонкие и суб-микро частицы	Итого
	0.295-0.074	0.074-0.037	0.037-0.01	<0.01	
Относительное содержание (%)	8.32	61.20	24.84	5.64	100.00

Вышеупомянутое исследование характеристик руды указывает, что данное месторождение золота - это месторождение руды золото-карбонатного типа с относительно простым минеральным составом. Вредные примеси, такие как мышьяк, относительно низки. Содержание крупных частиц золота также довольно низкое. В основном, золото имеет среднюю и мелкозернистую, рассеянную структуру. Содержание золота очень низкое, а его включения в основном одиночные и выходящие на поверхность.

## 2. Экспериментальное исследование

### 2.1 Исследовательский эксперимент

Исходя из природных условий данного золотого прииска, разработка золоторудного месторождения Б.Фантэм (B. Phatem) в Лаосе - это проект с цианированием комплексной мелкой породы. Предприняты четырехэтапный и пятиэтапный процесс выщелачивания. Условия эксперимента следующие: содержание золота с размером частиц 0.074 мм составляет более 90%, концентрация пульпы - 40%, а дозировка извести - 3 кг/т, дозировка цианида натрия - 800 г/т, время выщелачивания - 38 часов. При указанных выше условиях **степень выщелачивания** поднимается до 95%.

Для того, чтобы противопоставить и подтвердить эффект выщелачивания с «Jinchan» («Цзиньчань»), мы сначала провели два теста на контрастное выщелачивание реагентом «Jinchan» («Цзиньчань») и цианидом натрия, основываясь на параметрах технологического расчета для разрабатываемых месторождений. Оборудование для выщелачивания: смеситель для выщелачивания типа ХТТ/РК, работающий при комнатной температуре. Хвосты выщелачивания сушатся, затем концентрируются для отбора проб. Мы анализируем этапы и рассчитываем эффективность выщелачивания.

Процесс выщелачивания показан на Рисунке 1.

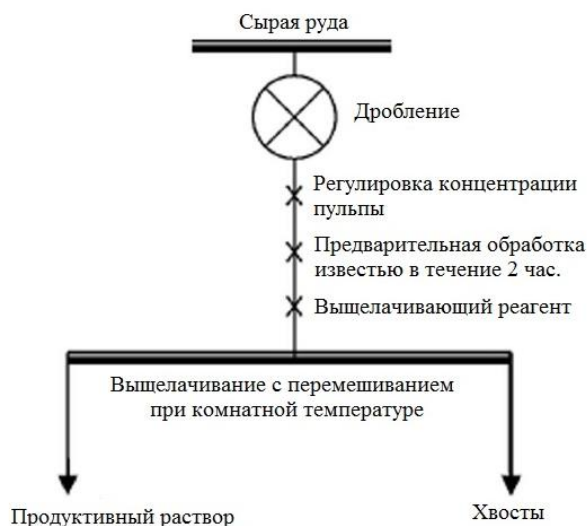


Рис.1 Схема процесса выщелачивания

Таблица 5. Результаты сравнительных испытаний по выщелачиванию

Содержание питания руды/ (г/т)	Реагент	Класс хвоста/ (г/т)	Степень выщелачивания/ %
7.5	Цианид натрия	0.28	96.27
	«Jinchan» («Цзиньчань»)	0.26	96.53
11.2	Цианид натрия	0.42	96.22
	«Jinchan» («Цзиньчань»)	0.30	97.30

Условия испытаний следующие: содержание руды с тонкостью помола 0.074 мм составляет 90%, концентрация суспензии - 40%; количество извести - 3 кг/т с двухчасовой предварительной обработкой. Количество выщелачивающего агента - 800 г/т, время выщелачивания - 32 часа. Во время эксперимента выщелачивающий агент добавлялся однократно, после завершения щелочной обработки. Результаты сравнительных испытаний по выщелачиванию приведены в Таблице 5.

Результаты сравнительных испытаний по выщелачиванию показывают, что выщелачивающий эффект реагента «Jinchan» («Цзиньчань») очень эффективен для золотосодержащей руды. При условии, что рудное содержание 7,5 г/т, содержание хвостов выщелачивания составляет 0,26 г/т с эффективностью выщелачивания до 96,53%, что лучше, чем при выщелачивании цианидом натрия. Если рудное содержание составляет 11,12 г/т, а количество выщелачивающего агента также 800 г/т, то при использовании реагента «Jinchan» («Цзиньчань») содержание хвостов выщелачивания составляет 0,30 г/т с эффективностью выщелачивания до 97,53%. Однако и при выщелачивании цианидом натрия содержание хвостов увеличилось до 0,42 г/т, а эффективность выщелачивания составила 96,22%. Разница между этими двумя методами составляет 1,08%. Выщелачивание с «Jinchan» («Цзиньчань») по сравнению с выщелачиванием цианидом натрия, очевидно, имеет лучший эффект при меньшем расходе реагента. Чтобы оптимизировать параметры процесса, необходимо провести проверку выщелачивания реагентом «Jinchan» («Цзиньчань») золотосодержащей руды на месторождении Б.Фантэм (B. Phatem) в Лаосе.

## 2.2 Условия испытания

Процедура испытания изображена на рисунке 1. Условия испытания включают тонкость помола, дозировку извести, дозу «Jinchan» («Цзиньчань»), концентрацию пульпы, и время выщелачивания. Рудное содержание составляет 7,5 г/т, время предварительной обработки - 2 часа. Применяется выщелачивание с перемешиванием при комнатной температуре.

### 2.2.1 Испытание тонкости помола

Экспериментальные условия следующие: концентрация пульпы - 40%; дозировка извести - 3 кг/т; дозировка «Jinchan» («Цзиньчань») - 800 г/т; время выщелачивания - 32 часа. Влияние тонкости помола на результаты выщелачивания показано на Рисунке 2.

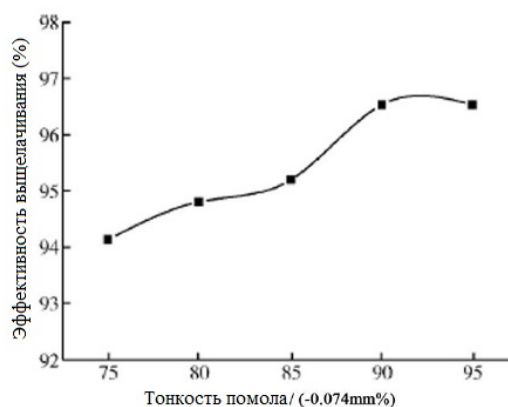


Рис.2 Влияние тонкости помола на результаты выщелачивания

Результаты на рисунке 2 доказывают, что эффективность выщелачивания золота составляет 94,13%, при 75%-м содержании руды с тонкостью помола 0,074 мм. Степень выщелачивания золота увеличивается с улучшением тонкости помола. Степень выщелачивания золота поднимается до 96,53%, когда содержание руды с тонкостью помола 0,074 мм составляет 90%. К тому же, степень выщелачивания золота остается неизменной с улучшением тонкости помола. Следовательно, выбранное содержание руды с тонкостью помола 0,074 мм составляет 90%.

### 2.2.2 Испытание дозы извести

Экспериментальные условия следующие: содержание руды с тонкостью помола 0,074 мм составляет 75%; концентрация пульпы - 40%; дозировка «Jinchan» («Цзиньчань») - 800 г/т; время выщелачивания - 32 часа. Влияние дозировки извести на результаты выщелачивания показано на Рисунке 3.

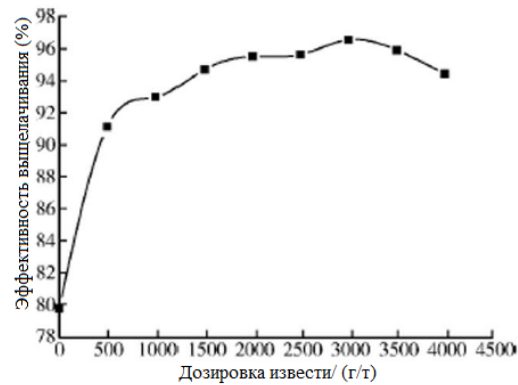


Рис.3 Влияние дозировки извести на результаты выщелачивания

Результаты на рисунке 3 обозначают, что эффект выщелачивания без извести - низкий, и степень выщелачивания золота составляет всего около 80%. С увеличением дозировки извести растет и степень выщелачивания золота. Когда доза извести составляет 3 кг/т, то степень выщелачивания золота достигает 96,53%. Однако, когда дозировка извести составляет более 3 кг/т, то степень выщелачивания золота снижается. Это указывает на то, что большая доза извести ухудшает выщелачивание золота. Следовательно, дозировка извести составляет 3 кг/т.

### 2.2.3 Испытание дозы «Jinchan» («Цзиньчань»)

Экспериментальные условия следующие: содержание руды с тонкостью помола 0,074 мм составляет 90%; концентрация пульпы - 40%; дозировка извести - 3 кг/т; время выщелачивания - 32 часа. Влияние дозировки «Jinchan» («Цзиньчань») на результаты выщелачивания показано на Рисунке 4.

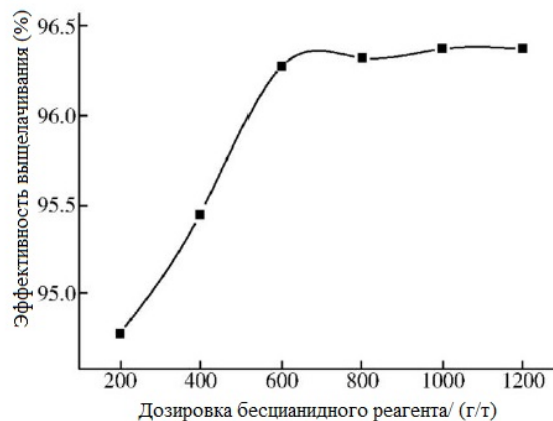


Рис.4 Влияние дозировки «Цзиньчань» на результаты выщелачивания

Результаты отображают постепенное увеличение эффективности выщелачивания с ростом дозировки «Jinchan» («Цзиньчань») от 200 г/т до 600 г/т. Степень выщелачивания золота составляет 94,80% при дозировке «Jinchan» («Цзиньчань») 200 г/т. А с дозировкой «Jinchan» («Цзиньчань») более 600 г/т, эффективность выщелачивания золота - 96,27%. Далее степень выщелачивания золота больше не увеличивается. Следовательно, дозировка «Jinchan» («Цзиньчань») составляет 600 г/т.

### 2.2.4 Испытание концентрации пульпы

Экспериментальные условия следующие: содержание руды с тонкостью помола 0,074 мм составляет 90%; дозировка извести - 3 кг/т; дозировка «Jinchan» («Цзиньчань») - 600 г/т; время выщелачивания - 32 часа. Результаты теста показаны на Рисунке 5.

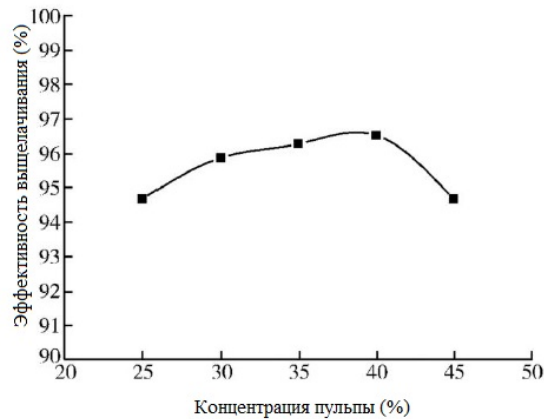


Рис. 5. Влияние концентрации пульпы на результаты выщелачивания

Результаты свидетельствуют, что скорость выщелачивания постепенно увеличивается с ростом концентрации пульпы от 25% до 40%. Максимальное значение эффективности выщелачивания золота составляет 96,40% при концентрации пульпы 40%. Затем, при концентрации пульпы более 40% степень выщелачивания золота уменьшается. Это обозначает, что высокая концентрация пульпы не способствует выщелачиванию золота. Следовательно, концентрация пульпы составляет 40%.

### 2.2.5 Испытание времени выщелачивания

Экспериментальные условия следующие: содержание руды с тонкостью помола 0,074 мм составляет 90%; концентрация пульпы – 40%. Дозировка извести - 3 кг/т; дозировка «Jinchan» («Цзиньчань»)- 600 г/т. Результаты теста показаны на Рисунке 6.

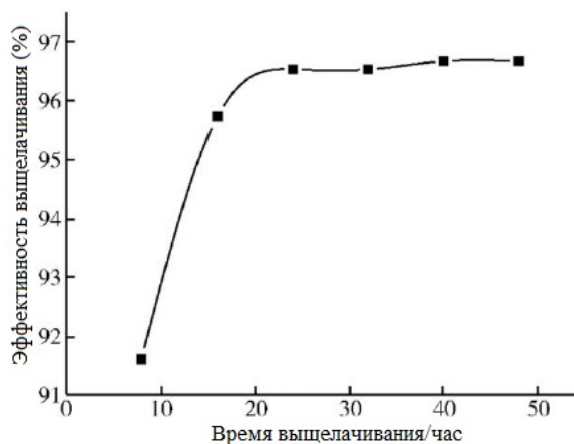


Рис. 6 Влияние времени выщелачивания на его результат



Таблица 6. Результаты проверочных испытаний

Вес образца/кг	Содержание питания руды/ (г/т)	Класс хвоста/ (г/т)	Степень выщелачивания/ %
0.8	7.5	0.27	96.4
1.6	7.5	0.27	96.4
2.4	7.5	0.27	96.4

Как показано на Рисунке 6, степень выщелачивания золота остается постоянной после увеличения времени выщелачивания с 8 до 48 часов. Степень выщелачивания золота поднимается до 95,73%, когда время выщелачивания 16 часов. А когда степень выщелачивания золота достигает 96,40%, то время процесса составляет 24 часа. Затем эффективность выщелачивания золота не изменяется в пределах времени процесса. Следовательно, выбранное время выщелачивания составляет 24 часа.

### 2.3 Проверочное испытание

Проверочный тест проводится с целью подтверждения возможности стабильной эффективности выщелачивания при найденных условиях процесса. Условия проведения проверочного испытания следующие: содержание руды с тонкостью помола 0,074 мм составляет 90%; концентрация пульпы – 40%; дозировка извести - 3 кг/т; время предварительной обработки щелочью -2 часа; дозировка «Jinchan» («Цзиньчань») - 600 г/т; время выщелачивания - 24 часа. Результаты теста показаны в Таблице 6.

Результаты доказывают, что степень выщелачивания золота очень стабильна при оптимальных условиях процесса и составляет до 96,40% с классом хвоста 0,27 г/т. Более того, при выщелачивании с «Jinchan» («Цзиньчань»), в сравнении с выщелачиванием цианидом натрия, дозировка реагента уменьшается на 200 г/т, время выщелачивания сокращается более чем на 12 часов, а эффективность процесса увеличивается на 1,4%.

### 2.4 Анализ выщелачивания продуктивного раствора и токсичности хвостового шлама

Мы провели отбор проб и химический анализ выщелачивающих растворов цианида натрия и «Jinchan» («Цзиньчань») соответственно, а также анализ токсичности хвоста, выщелоченного реагентом «Jinchuan». Анализ токсичности хвоста «Jinchan» («Цзиньчань») был выполнен компанией Advanced Standards Technical Services Co., LTD. Анализ основных компонентов продуктивного раствора выщелачивания «Jinchan» («Цзиньчань») показан в Таблице 7, а анализ токсичности хвоста выщелачивания «Jinchan» («Цзиньчань») показан в Таблице 8.

Таблица 7. Анализ основных компонентов в экстракте продуктивного раствора (мг/л)

Содержание элементов	Цианид	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Значение pH
цианид	210	2.72	1.06	2.3	0.03	0.04	0.05	11.5
«Jinchan»	<0.004	2.88	1.02	0.65	0.02	0.04	0.09	12

Таблица 8. Анализ токсичности хвоста выщелачивания  
«Jinchan» («Цзиньчань»)/(мг/л)

Тестируемый показатель	цианид	Cu	Pb	Zn	As
Результаты	<0.004	0.26	<0.07	<0.02	<0.0001
Норма госстандарта	5	100	5	100	5

Результаты в Таблице 7 и 8 показывают, что в процессе выщелачивания цианидом натрия содержание цианида и меди в продуктивном растворе соответственно равно 210 мг/л и 2.3мг/л. Напротив, содержание цианида и меди в продуктивном растворе при процессе выщелачивания препаратом «Jinchan» («Цзиньчань») составляет менее 0.004 мг/л и 0.65 мг/л соответственно. Очевидно, что содержание цианида и меди в продуктивном растворе значительно ниже.

В то же время, при разных выщелачивающих реагентах, содержание Pb, Zn, As и значения pH в продуктивном растворе одинаково. Анализ токсичности хвостов выщелачивания с использованием «Jinchan» («Цзиньчань») доказывает, что содержание цианида ниже 0.004 мг/л, а значение токсичности выщелачивания Cu, Pb, Zn и As гораздо ниже предельных значений токсичности в опасных отходах (Государственный стандарт GB5085.3-2007). Таким образом, хвосты в процессе выщелачивания препаратом «Jinchan» («Цзиньчань») могут выгружаться напрямую, без детоксикационной обработки.

### 3. Экономический сравнительный анализ

С целью оценки эффективности цианида натрия и препарата «Jinchan» («Цзиньчань»), мы провели сравнительный анализ инвестиций в строительство рудника, стоимости детоксикации хвостов, затрат на приобретение выщелачивающего реагента, исходя из расчетных параметров строительства объекта на месторождении золотокарбонатной руды Б.Фантэм (B. Phatem) в округе Бак-оу провинции Луангпхабанг в Лаосе, которые были предложены Северно-китайским бюро геологоразведочных работ в Тяньцзине. Первичные данные взяты из предварительного проектного отчета о строительстве рудника, включая масштаб добычи 500 т/день, 300 рабочих дней в год, инвестиции в строительство станции детоксикационной обработки шламовой пульпы в размере 4150000 юаней (4 млн. 150 тыс. юаней). Стоимость реагентов основана на текущих рыночных ценах.

#### 1) Инвестиции в подготовительные строительные работы

Если выбрать процесс цианирования, то на детоксикацию шламовой пульпы будет затрачено 4150000 юаней. В то время как при процессе выщелачивания с «Jinchan» («Цзиньчань») строительство станции очистки хвостовой пульпы не требуется.

#### 2) Стоимость детоксикации шламовой пульпы

По предварительному проекту затраты на детоксикацию хвостов - 31.01 юаней/т, стоимость детоксикации в год - 4651500 юаней. Однако выщелачивание с «Jinchan» («Цзиньчань») не требует детоксикации хвостовой пульпы, которая соответствует государственным стандартам и может непосредственно прессоваться в сухом состоянии.

#### 3) Затраты на приобретение выщелачивающих реагентов

Согласно предварительному проекту, дозировка цианида натрия - 800 г/т, а рыночная цена - 18000 юаней за тонну. Таким образом, покупная стоимость цианида натрия составляет 2160000 юаней в год. Напротив, дозировка «Jinchan» («Цзиньчань») составляет 600 г/т, а рыночная цена - 24000 юаней за тонну. Поэтому покупная стоимость «Jinchan» («Цзиньчань») составляет 2880000 юаней в год.

Основываясь на комплексном анализе трех вышеупомянутых аспектов стоимости, при выборе процесса цианирования стоимость детоксикации хвостовой пульпы и цианида натрия составляет 6811500 юаней в год, в то время как цена выщелачивания с «Jinchan» («Цзиньчань») всего 2 880 000 юаней в год.

Технологическая себестоимость может сэкономить 3 931 500 юаней в год. Кроме того, процесс выщелачивания с «Jinchan» («Цзиньчань») не требует строительства станции обработки хвостовой пульпы, что может сэкономить строительные инвестиции в размере 4 150 000 юаней.

#### 4. Заключение

1) Экспериментальные исследования показывают, что оптимальные условия для выщелачивания с «Jinchan» («Цзиньчань») это: содержание руды с тонкостью помола 0,074 мм - 90%; концентрация пульпы - 40%; дозировка извести - 3 кг/т; время предварительной обработки щелочью - 2 часа; дозировка «Jinchan» («Цзиньчань») - 600 г/т; время выщелачивания - 24 часа.

При указанных условиях эффективность выщелачивания золота до 96,40% .

2) Что касается руды золото-карбонатного типа Б.Фантэм (B. Phatem), то по сравнению с выщелачиванием цианидом натрия, степень выщелачивания с «Jinchan» («Цзиньчань») увеличивается на 1.4%, дозировка реагента уменьшается на 200 г/т, время выщелачивания сокращается более чем на 12 часов.

3) Анализ токсичности хвостов после выщелачивания с «Jinchan» («Цзиньчань») доказывает, что содержание цианида менее 0.004 мг/л, содержание меди - 0.26 мг/л, содержание свинца - менее 0.07 мг/л, содержание цинка менее 0.02 мг/л, а содержание мышьяка очень низкое. Вышеуказанные результаты гораздо ниже предельных значений токсичности опасных отходов (Государственный стандарт GB5085.3-2007). Таким образом, хвосты выщелачивания в процессе с «Jinchan» («Цзиньчань») могут напрямую выгружаться без детоксикационной обработки.

4) Сравнительный экономический анализ показывает: если для руды золото-карбонатного типа Б.Фантэм (B. Phatem) в округе Бак-оу провинции Луангпхабанг в Лаосе, выбрать процесс выщелачивания с «Jinchan» («Цзиньчань»), разработанный Северно-китайским бюро геологоразведочных работ в Тяньцзине, то на стоимости экономится 3931500 юаней в год, а инвестиции в строительство снизятся на 4150000 юаней.

#### Ссылки

- Лю Ю.Ц., 2011. Текущая ситуация и перспективы «зеленого» шахтного строительства. Сохранение и использование полезных ископаемых 5-6, 4-8. (на китайском языке с кратким изложением на англ.яз.)
- Го Г.Ф., Ху Ю.Х., Цю Г.Чж., 1994. Теоретическое исследование выщелачивания золота тиокарбамидом: кинетика растворения золота. Золото 15, 30-33. (на китайском языке с кратким изложением на англ.яз.)

- Ли Ц.С., Люй Ц., Чжоу В.Н., 2014. Метод выщелачивания золота тиокарбамидом. Китай: CN10 3 7 8 9 5 4 6 А[Р]
- Элмер, М.Г., Ли Л., Ли С.Г., 2001. Обзор выщелачивания золота серой. Обогащение металлосодержащей руды. Зарубежье 5, 2-18.
- Ли Г.С., Люй С.С., 2004. Экспериментальное исследование по йодистому выщелачиванию золота. Китайская горнодобывающая промышленность 13, 66 – 68 (на китайском языке с кратким изложением на англ.яз.)
- Ян Ц.В., Ван Е.Ц., 2007. Прогресс в обогащении полезных ископаемых и металлургии для золотосодержащих руд. Сохранение и использование минеральных ресурсов 4, 34— 38 (на китайском языке с кратким изложением на англ.яз.)
- Ван Х., Ху С.Ц., 2010. Обзор технологий выщелачивания золота цианированием и без цианирования. Металлургия Юньнань 39, 9— 12. (на китайском языке с кратким изложением на англ.яз.)
- Ли Д.Л., Цю Г.Ц., Ван Д.Ц., 1992. Первоначальные исследования по очистке цианидсодержащих жидких отходов методом перекиси водорода. Золото 13, 32— 36. (на китайском языке с кратким изложением на англ.яз.)
- Кеннет Н.Х., 1992. Тенденции развития и перспективы метода выщелачивания. Сырая металлургия 4,36-42.
- Хуан Ц.С., 2011. Экологически чистая минеральная технологическая добавка, метод производства и применения. Китай: CN 102121067А[Р]
- Цюе М., 2011. Минеральная технологическая добавка для добычи золота и метод ее приготовления. Китай: CN102166545А [Р]
- Тэн П.Г., Хуан Ц.С., Лун Е., и др., 2012. Производство и метод использования экологически безопасного агента по обогащению драгоценных металлов. Китай: CN102321807А [Р]
- Сюн Б.Л., 2013. Агент экологически чистого типа для обогащения золота и метод его производства. Китай: CN103060577А [Р]
- Лю Ц., Сун М.В., Юй Х.П., и др., 2013. Способ извлечения золота на золотоносных рудниках с помощью феррицианида. Китай: CN103290232А[Р]

ДВИЖЕНИЕ ПРОВЕРЕННОЕ ВРЕМЕНЕМ