



Стрижко Леонид Семёнович

Профессор
НИТУ «МИСиС»

Получение флотоконцентратов

Концентраты получают флотационным методом обогащения.

Задачи флотационного обогащения:

- Извлечь из упорной руды тонкое ассоциированное с сульфидами золото
- Сократить количество перерабатываемого материала

При флотации для создания оптимальных условий процесса используют:

- собиратели;
- пенообразователи;
- регуляторы среды;
- активаторы;
- депрессоры;
- модификаторы.

Способы переработки флотоконцентратов

1. Обжиг - цианирование огарка: окислительный, сульфидизирующий, хлорирующий;
2. Автоклавное окисление - цианирование твердого остатка;
3. Бактериальное окисление - цианирование твердого остатка;
4. Тонкое измельчение – интенсивное цианирование (Альбион процесс).

Преимущества и недостатки обжига

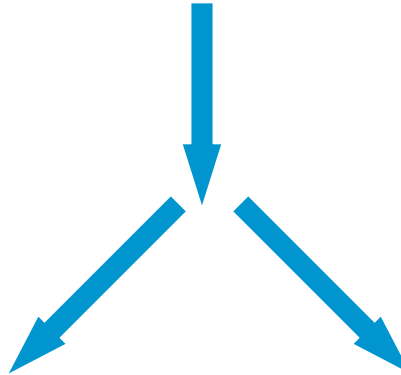
Основные преимущества	Основные недостатки
<ul style="list-style-type: none">- окисление упорных концентратов с высоким содержанием серы, мышьяка и органического углерода, в т.ч. обладающего «pregrobbing»;- возможность утилизации серы в виде серной кислоты;- получение мышьяковых продуктов (триоксида) или труднорастворимых арсенатов железа.	<ul style="list-style-type: none">- выделение токсичных газов и пылей (диоксида серы, оксидов мышьяка и др. компонентов, наносящих вред окружающей среде) ;- пассивация поверхности вследствие образования на вскрываемых золотилах пленок легкоплавких соединений;- высокие потери золота с хвостами цианирования;- Невысокие извлечение золота

Заводы применяемые обжиг концентратов с последующим
цианирование огарка

Месторождение, предприятие	Страна	Компания	Производи - тельность, т/сутки	Год ввода
Gidji/W.A.KCG М	Австралия	Barrick/New mont	1150	1987
Kanowna Bella	Австралия	Barrick/New mont		1994
Syama	Мали	Resolute gold	590	2007
Tanjiansha	Китай	Eldorado Gold		2008
Tongguan	Китай		200	2010

Автоклавное окисление

Окисление вмещающих золото сульфидов



Кислотное выщелачивание

- Перевод железа и серы и цветных металлов в раствор
- Перевод мышьяка (V) в нерастворимую форму

Щелочное выщелачивание

- Перевод железа в нерастворимую форму
- Перевод серы и мышьяка (V) в формы растворимых солей

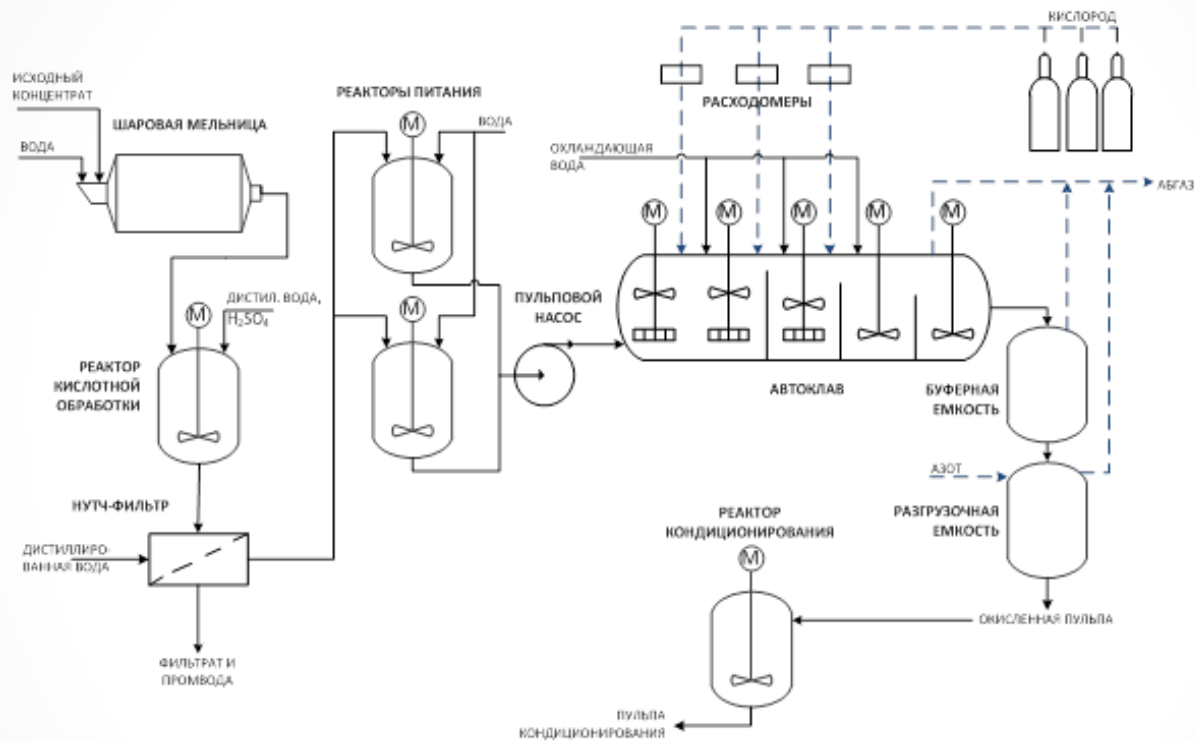
Режимы и показатели автоклавного окисления концентратов, перерабатываемых на зарубежных автоклавных заводах (по данным С.С.Набойченко, 2009)

Параметры и показатели	Концентрат
Содержание сульфидной серы, %	6-19
Содержание золота, г/т	30-200
Содержание мышьяка, %	0,1-18
Крупность измельчения	80% - 0,037 (0,022)–0,074 мм
Выщелачивающая среда	Сернокислая, редко щелочная
Температура, °С	190-225
Давление общее, Кпа	1600-3180
Продолжительность, мин	45-145
Степень окисления сульфидной серы, %	88-99
Извлечение золота, %	90-96

Заводы применяемые автоклавы

Месторождение, предприятие	Компания	Страна	Мощность, т/сутки	T,°C	Год ввода
Campbell	Place Dome	Канада	71	190	1990
Porgera	Barrick	Папуа-Новая Гвинея	1350	190	1991
Masraes	OceanGold	Новая Зеландия	20	225	1999
Killita	Agnico-Eagle	Финляндия		225	2008
Амурский АГМК	Полиметалл	Россия	576	225	2012
Покровский АГМК	ЗАО Петропавловск	Россия	432	225	2011 (опытная установка)
Березниковский	ОАО Южуралзолото	Россия	1 автоклав 75 куб.с		2016

Схема цепи аппаратов полупромышленного испытания автоклавной технологии переработки флотоконцентрата на ЗАО «Полюс»



Продукт	Fe	Собщ,	S (6+)	S(0)	S(2-)	As	Sb	Au, (г/т)
Концентрат (4%)	25,6	19,2	0,1	-	19,1	6,8	5,1	64,5
Биокек (4%)	12,8	14,1	2,8	5,7	5,6	2,6	3,5	80
Концентрат (8%)	16,5	12,2	0,1	-	12,1	3,5	3,3	33
Биокек (8%)	9,9	11,8	5,2	4,9	1,7	2,7	2,8	45

Извлечение золота – 95-96 %

Расход цианида на 1 т биокека – 4-6 кг

Результаты внедрения автоклавного выщелачивания на Амурском

ГМК

Технологический показатель	Проектное значение	Достигнутое значение
Переработка концентрата, т/ч	22	22-25
Производительность кислородного завода по кислороду, т/ч	5352	5250
Участок автоклавного окисления		
Поток пульпы, м ³ /ч	37-40	40-50
Содержание серы в питании автоклава, %	6,5	7,4
Температура в автоклаве, °С	200	203-206
Давление в автоклаве, кПа	2170	2190
Степень окисления серы, %	98	98
Участок охлаждения и нейтрализации		
Температура на входе в теплообменник АМВ, °С	90-99	93
Температура пульпы на выходе из теплообменника, °С	43-47	47
рН второй стадии нейтрализации	10,4-10,7	10,7
Участок сорбционного выщелачивания		
Содержание твердого в пульпе, %	30-35	33-42
Концентрация NaCN, г/л	0,1-1,0	0,35
Среднее содержание угля в каскаде сорбционного цианирования, % (об.)	1,5-1,8	1,8
Участок обратного осмоса		
Производительность по фильтрату, м ³ /ч	98,8	100
Производительность по пермеату, м ³ /ч	75	75

Бактериальное выщелачивание

```
graph TD; Title[Бактериальное выщелачивание] --> Direct[Прямое бактериальное выщелачивание золота]; Title --> Oxidation[Окисление вмещающих золото сульфидов]; Direct --> Cultures[Применяемые культуры]; Cultures --> Mechanisms[Механизмы вскрытия]; Oxidation --> Indicators[Показатели процесса];
```

Прямое бактериальное выщелачивание золота

Применяемые культуры:

- Bac. Megatherium 20 (30)
- Bac. Mesentericus 12

Окисление вмещающих золото сульфидов

Механизмы вскрытия:

- Прямое окисление кислородом
- Образование Fe_2O_3

Показатели процесса:

- Температура, °C 28 - 35
- pH 1,7 - 2,4
- Продолжительность, ч 90 – 120
- Культура: *Thiobacillus ferrooxidans*

Режимы и показатели переработки золотосодержащих концентратов на зарубежных биогидрометаллургических заводах (по данным ЦНИГРИ)

Наименование показателя	Величина
Содержание сульфидной серы, %	11-30
Содержание золота, г/т	25-300
Содержание мышьяка, %	5-10
Крупность измельчения	80-85%-0,074мм
Выщелачивающая среда	Сернокислая
Температура, °С	36-45
Продолжительность, суток	90-144
Степень окисления сульфидной серы	80-95
Извлечение золота, %	88-95

Заводы применяемые бактериальное выщелачивание

Предприятие, месторождение	Компания	Технология	Страна	Производи- тельность, т/сутки	Год ввода и расширения
Fairview	Pan African Resources	BIOX	ЮАР	55	1986-1999
Wiluna	Apex Minerals	BIOX	Австралия	115-158	1993-1996
Sao Bento	Eldorado	BIOX	Бразилия	150	1990-1998
Harbour Lights		BAROX	Австралия	40	1992-1994
Ashanti-Sansu	Anglo Ashanti	BIOX	Гана	960	1994
Tamboraque		BIOX	Перу	60	1999
Beaconsfield	BCD Resources	BAROX	Австралия	68	2000
Олимпиадинское	Polus Gold	BIONORD	Россия	300-900	2001-2007
Forsterville	Crocodile Gold	BIOX	Австралия	126	2005
Yantai Gold		CCGRI	Китай	50 -80	2000-2001
Laizhou		BAROX	Китай	100	2001
Tianli	Tazan BioGold	CCGRI	Китай	100-150	2003-2007-
Axi		JLMRI	Китай	50 -80	2004-2007
Suzdal	South Verhoyansk	BIOX	Казахстан	520	2005
Sanhe		CCGRI	Китай	70	2006
Jinchiling		CCGRI	Китай	4200	20007
Jinfeng	ElderadoGold	BIOX	Китай	1000	2007
Bogoso	Star Resources	BIOX	Гана	1500	2007
Кокпатас	Navoinskyi GMC	BIOX	Узбекистан	2138	2008
Agnes	Galaxy Gold	BIOX	ЮАР	20	2010

Тонкое измельчение- интенсивное цианирование (Альбион процесс)

Основные технологические операции Альбион-процесса

- Ультратонкое измельчение - 80% - 10 мкм;
- Окисление сульфидов кислородом при температуре до 100°C (низкое давление);
- Охлаждение;
- Нейтрализация известью;
- Цианирование с сорбцией на активный уголь (CIL)

Заводы применяемые Альбион процесс

Предприятие	Страна	Концентрат	Год ввода
MIM Holding Xstrata	Австралия	Zn концентрат	1994
Albion Process plant	Испания	Zn концентрат	2010
Albion Process plant	Германия	Zn концентрат	2011
Las Lagunas		Au концентрат	2012
Certej	Румыния	Au концентрат	2013

Акустическая и магнитно-импульсная активация

Параметры акустической обработки пульпы:

- Частота колебания 18 ± 2 кГц
- Мощность обработки $2,6$ Вт/см²

Увеличение извлечения золота от 72% до 95%.

Параметры магнитно-импульсной обработки пульпы:

- Импульс электромагнитного поля 30-3000 имп./мин.
- Время обработки 20-180 сек.

Увеличение извлечения золота с 72% до 81%.

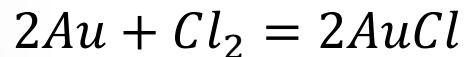
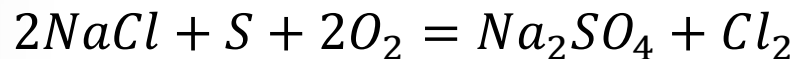
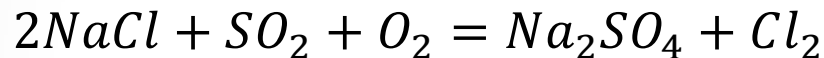
Хлоридовозгоночный обжиг золотосодержащих материалов

Задача обжига:

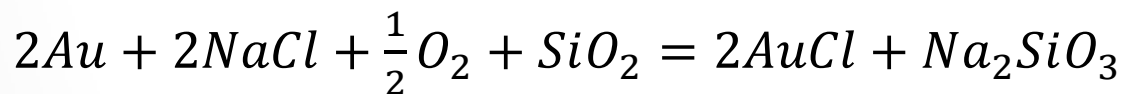
- Перевести золото в летучий хлорид AuCl

Механизмы хлорирования:

- Газообразным хлором. Источник Cl₂ – хлорид натрия NaCl:



- Солью, в присутствии породобразующих минералов:



Показатели процесса:

- Температура, °C 900 - 1100
- Дозировка NaCl, % 10 - 15

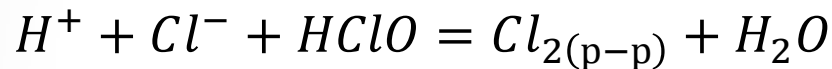
Гидрохлорирование золотосодержащих материалов

Задача гидрохлорирования:

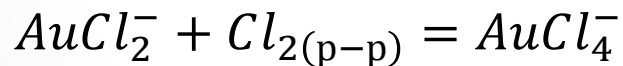
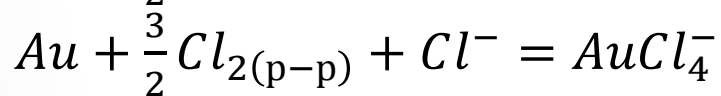
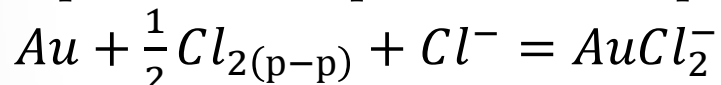
- Перевести золото в растворимые хлоридные комплексы

Механизм гидрохлорирования:

- Хлорноватистая кислота диссоциирует, образуя $Cl_{2(p-p)}$:



- Растворенный хлор и ионы хлора растворяют золото:



Гидрохлорированием перерабатывают упорные руды, а также золотосодержащие пром. продукты

Извлечения золота из руд и концентратов цианированием с применением гидроакустических излучателей

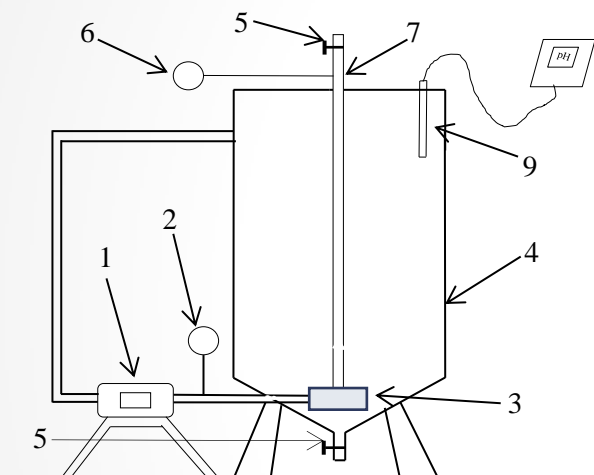
Параметры гидроакустического цианирования:

- Давления пульпы в входное устройство ГАИ 3-5 атм.;
- Продолжительность цианирование до 6 ч;
- Повышение концентрации растворенного кислорода до 18 мг/л;
- Концентрация цианида до 0,6 %;
- рН среды 9,5-10,5;

Увеличение извлечения золота на 12-18 %.

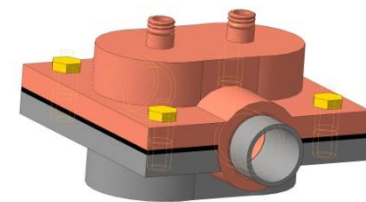
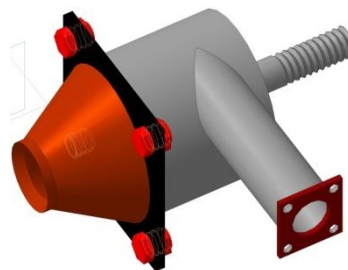
Извлечения золота из руд и концентратов цианированием с применением гидроакустических излучателей

Установка для лабораторных испытаний



1 – пневматический насос; 2 – манометр; 3 – гидроакустический излучатель; 4 – реактор; 5 – кран разгрузки пульпы; 6 – ротаметр; 7- трубка для подачи цианидного раствора и засасывания воздуха в резонаторную камеру; 8 – кран, 9 - рН метр.

Гидроакустический излучатель различного типа
высокого спектра частот



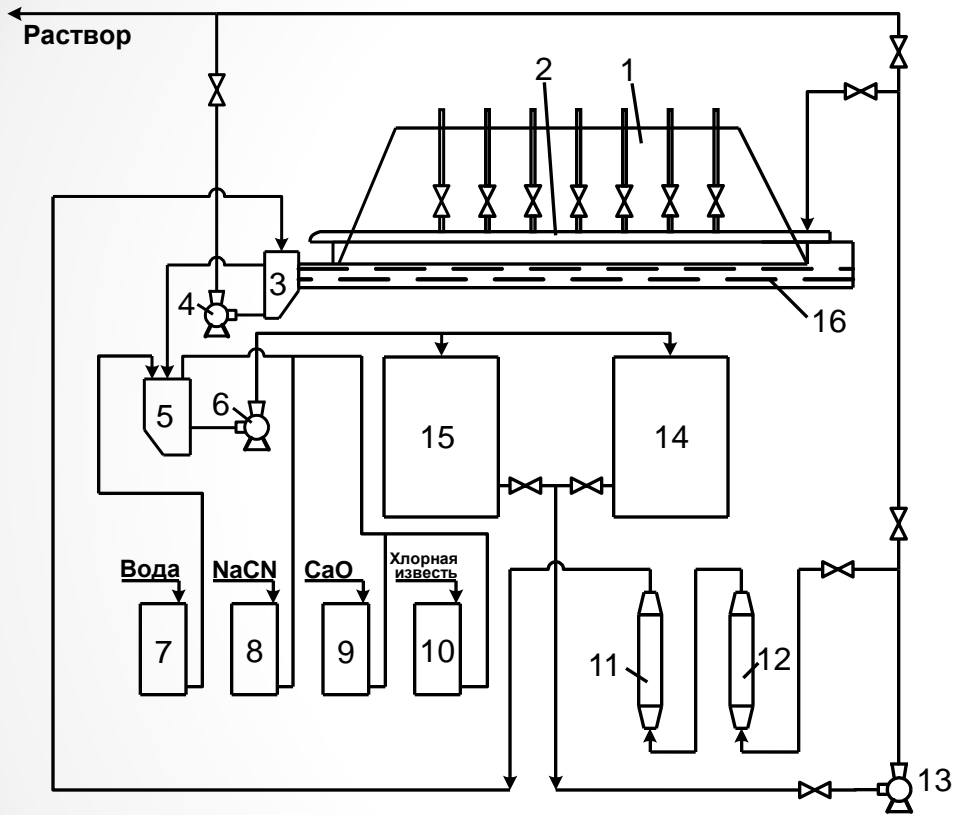
Кучное выщелачивание. Преимущества процесса кучного выщелачивания.

- возможность отработки малых рудных месторождений, которые экономически нецелесообразно обрабатывать традиционным фабричным методом
- низкие капитальные затраты на освоение
- относительно малая себестоимость конечного продукта
- быстрая окупаемость проектов
- высокая производительность труда при минимальной численности рабочих
- отсутствие энергоёмких и материалоемких операций

Предложения по увеличению продолжительности сезона кучного выщелачивания

- использование снежного покрова как естественного теплоизолирующего верхнего слоя рудного штабеля
- укрытие штабеля в холодный период времени полимерной пленкой с подачей теплого воздуха под покрытие
- подогрев рабочих растворов, используемых для орошения рудного штабеля
- обоснованное размещение площадки под кучное выщелачивание с учетом максимального эффекта использования солнечной радиации и наименьшего воздействия ветровой энергии

Схема кучного выщелачивания



- 1 – обрабатываемый материал для кучного выщелачивания;
- 2 – система орошения;
- 3 – шламоотстойники;
- 4, 6, 13 – насосы;
- 5 – железобетонный зумф;
- 7 – емкость для воды;
- 8 – емкость для раствора цианида натрия;
- 9 – емкость для раствора извести;
- 10 – емкость для раствора обезвреживания хлорной извести;
- 11, 12 – сорбционные угольные колонки;
- 14, 15 – сборные емкости для цианистых растворов;
- 16 – бетонное основание для складирования материала

Предложения по интенсификации процесса кучного выщелачивания с применением гидроакустических излучателей

Применение гидроакустических излучателей способствуют:

- насыщать предварительно цианистые растворы кислородом до концентрации 18 мг/дм^3 ;
- увеличит скорости растворения золота в 4-9 раз;
- уменьшит продолжительности кучного выщелачивания в 2-3 раза.

Схема кучного выщелачивания с применением гидроакустических излучателей

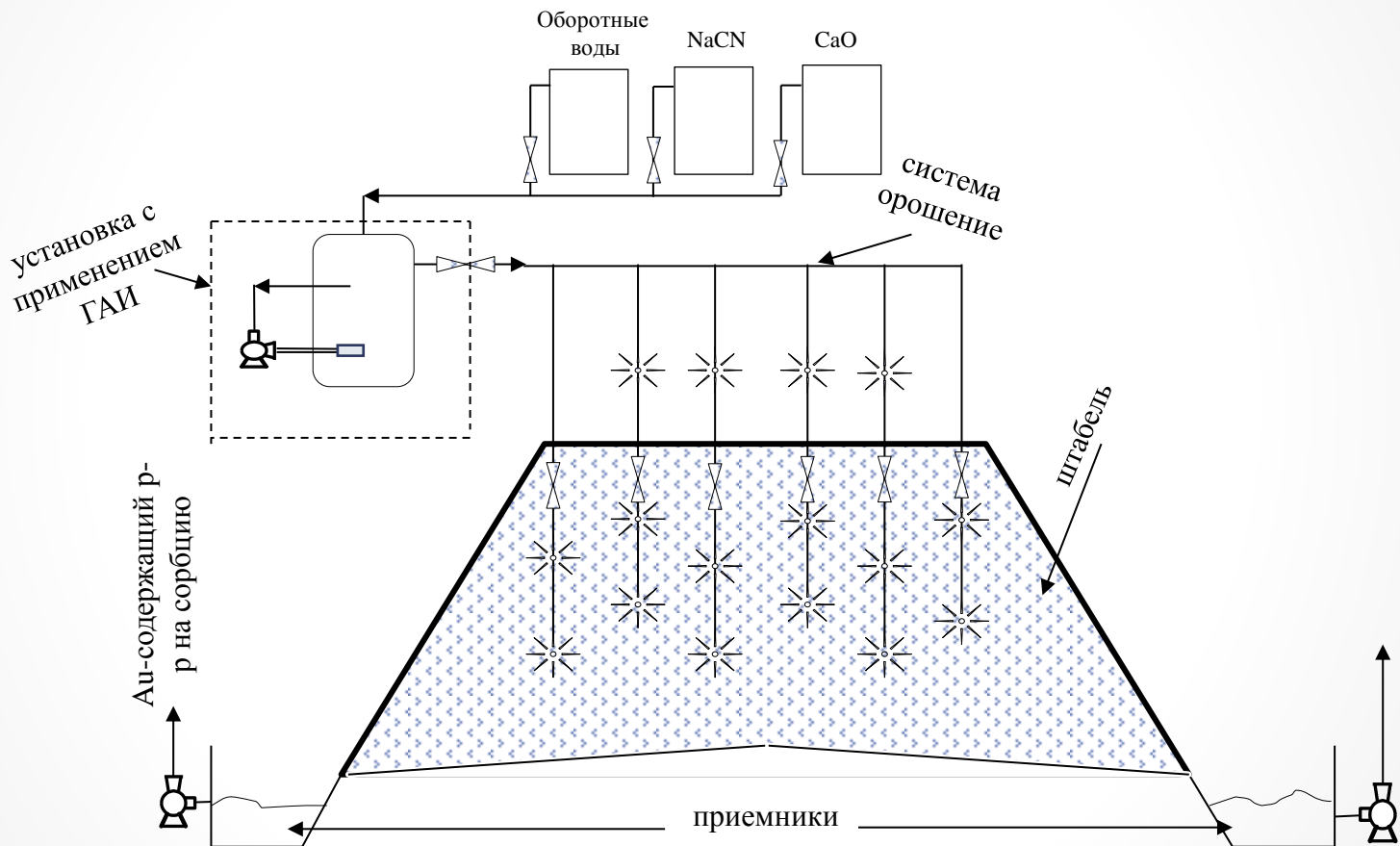


Таблица сравнения применяемых процессов

Показатель	Традицион- ный процесс	Сорбционная технология	Кучное выщелачивание
Содержание золота, г/т	5,14	5,14	5,14
Запланированное время эксплуатации, сут/год	365	365	214
Эксплуатационная го- товность предприятия, %	95	95	95
Производительность, т/сут	500 (а) 2000 (б)	500 (а) 2000 (б)	850
Извлечение золота, %	95	95	80
Стоимость извлеченного золота, млн долл.	10,8 (а) 43,2 (б)	10,8 (а) 43,2 (б)	9,13
Расход реагентов, кг/т:			
NaCN	0,25	0,25	0,25
CaO	1,25/1,00	1,25/1,00	2,50
Zn	0,025	—	—
Уголь	—	0,05	—
Cl ₂	0,67	0,80	0,67
Электроэнергия, кВт·ч/т	35	29	5

Примечание. В числителе приведены данные по выщелачиванию, в знаменателе — по обезвреживанию.

Основные предприятия, применяемые кучное выщелачивание

- «Селигдар»: порог рентабельности работы в зимний 300 грамм золота в сутки
- АО «ГМК КазахАлтын» рудник «Аксу»: производительность 500 тыс. т руды в сезон
- «Smoky Valley Mining»: производительность 13,1 тыс. тонн в сутки (себестоимость 1 г золота составляет 7,1 долларов, коэффициент вскрыши составляет 2,8)
- Компания «Данк» месторождения «Мизек»: производственная мощность рудника позволяет перерабатывать более 1 млн. тонн руды в год, или, в товарном эквиваленте, получать более 1 тонны золота и более 1,5 тонн серебра
- Корпорация «Kinross Gold» рудник «Refugio» производительность 40000 тонн в день
- Корпорация «Viceroy Resources» месторождение «Браувери Крик»: извлечение золота составляет 78 % ,содержании 1,45 г/т с его ежегодной добычей на уровне 2,5 т, при производительности рудника 2,3 млн. т руды в год

Воронцовское «Полиметалл»

	3 месяца, завершившиеся 31 декабря			12 месяцев, завершившиеся 31 декабря			
	2009	2008	2007	2009	2008	2007	2006
	Вскрыша, тыс. тонн	2 772	2 505	2 383	10 446	9 087	9 286
Добыча руды (ОГР), тыс. тонн	183	119	167	666	582	855	809
Окисленная руда	8	24	31	43	193	220	152
Первичная руда	175	94	135	623	389	635	658
Переработка руды, тыс.тонн	365	285	294	1 734	1 529	1 360	1 244
Окисленная руда	143	114	174	938	925	882	832
Первичная руда	222	171	120	796	604	478	413
Содержание металлов в руде, г/т:							
Окисленная руда	1,6	1,7	1,8	1,7	1,5	2,0	2,2
Первичная руда	6,5	6,2	6,3	6,0	6,5	6,3	5,9
Коэффициент извлечения золота (1)				65,3%	73,0%	68,6%	70,0%
Окисленная руда							
Первичная руда	78,9%	78,3%	80,9%	79,2%	79,2%	80,1%	78%
Производство золота, тонны	1,5	1,1	1	4,665	4,1	3,6	3,1
Кучное выщелачивание	0,398	0,342	0,373	1	1	1,2	1,3
Уголь-в-пульпе	1,054	0,778	0,622	3,6	3,1	2,4	1,9
Производство серебра, тонны	0,808	0,590	0,622	2,5	2	2,2	2,6