

УДК 669.213.6

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ЦИАНИДА  
В ОБОРОТНЫХ РАСТВОРАХ СОРБЦИОННОГО  
ЦИАНИРОВАНИЯ ФЛОТОКОНЦЕНТРАТА РУДЫ  
БЕРЕЗНЯКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**А. Ф. РАЩЕНКО, А. А. ФАЙБЕРГ, А. В. ЕПИФОРОВ,  
В. Н. ХВОЙНОВ, С. С. ГУДКОВ**

*ОАО «Иргиредмет», г. Иркутск, Российская Федерация*

**В. В. ЕЛШИН**

*ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический  
университет», Российская Федерация*

**Постановка проблемы**

Минералы меди взаимодействуют с цианидом, образуя цианидные комплексы –  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ ,  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ ,  $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$ , что приводит к значительному увеличению расхода цианида натрия в процессе выщелачивания золота. В результате накопления меди в оборотных растворах значительно снижается извлечение золота, а следовательно, и эффективность технологии в целом.

**Анализ последних исследований и публикаций**

В настоящее время разработаны процессы и методы регенерации цианида в обогащенных медью выщелачивающих растворах как до, так и после извлечения золота. Эти процессы сочетают в себе возможность выделения меди в виде соответствующего товарного продукта и регенерации цианида, пригодного для извлечения золота с тем, чтобы уменьшить общие производственные затраты. К таким процессам относят: Cotech, MNR, SART, CyanometAuGment, Vitrokele, Hannah, Cyanisorb [1]–[3]. В «Иргиредмете» исследования по регенерации свободного цианида в растворах, содержащих цианистые комплексы меди, начаты в 2004 г. Результаты исследований подробно изложены в публикациях [4]–[9]. На технологию регенерации свободного цианида с одновременным осаждением сульфида меди из растворов перед сорбцией золота получен патент [10].

**Цель (задачи) исследования**

Настоящая работа выполнена в связи с необходимостью разработки и внедрения технологии регенерации цианида натрия при цианировании флотоконцентратов в пусковой период фабрики по переработке первичных руд месторождения «Березняковское» в связи с высоким расходом цианида в процессе цианирования упорных флотационных концентратов.

Представленная в данной статье технология предусматривает извлечение меди в виде высококачественного сульфидного концентрата при одновременной регенерации свободного цианида в оборотном растворе, пригодном для цианирования флотоконцентрата. При этом регенерации подвергаются обеззолоченные растворы.

**Основной материал исследования**

***Химический и минералогический состав флотоконцентрата***

Испытания проводили с целью сокращения расхода цианистого натрия в процессе цианирования флотоконцентрата, полученного при обогащении руды Березняковского месторождения.

Исследования по сорбционному цианированию проводились на коллективном флотоконцентрате, полученном при проведении полупромышленных испытаний по флотационному обогащению и автоклавному выщелачиванию пробы первичной руды в «Иргиредмете». Химический и минералогический состав флотоконцентрата представлен в табл. 1 и 2.

Таблица 1

## Химический состав флотоконцентрата

Компоненты	Массовая доля, %
SiO <sub>2</sub>	41,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,8
TiO <sub>2</sub>	0,24
K <sub>2</sub> O	0,25
CaO	0,24
Fe <sub>общ</sub>	14,3
Fe <sub>окисл</sub>	0,70
Fe <sub>(S)</sub>	13,6
Cu <sub>общ</sub>	6,85
Cu <sub>(S)</sub>	6,56
Cu <sub>окисл</sub>	0,29
S <sub>общ</sub>	20,7
S <sub>(S)</sub>	20,59
S <sub>окисл</sub>	0,11
As	2,34
Sb	1,15
Zn	0,585
Pb	0,027
Au, г/т	54,6
Ag, г/т	92,0

Таблица 2

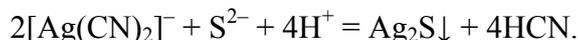
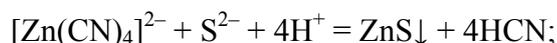
## Минеральный состав флотоконцентрата

Минералы, группы минералов	Массовая доля, %
Кварц	30,0
Пирофиллит	18,5
Полевые шпаты	2,0
Серицит	1,7
Кальцит	0,3
Сульфиды, в том числе:	46,0
пирит	27,7
блеклая руда	16,8
халькопирит	1,5
другие	Ед. знаки
Оксиды, гидроксиды железа, вторичные минералы меди	1,5
<i>Итого</i>	100,0

**Описание технологии регенерации**

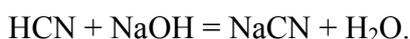
Технологические растворы обрабатываются раствором сульфида натрия с последующим введением минеральной кислоты и снижением pH до значений pH < 5.

При этом происходит образование осадка малорастворимых сульфидов металлов и синильной кислоты (HCN), остающейся в растворе:



Полученную смесь раствора и осадка разделяют отстаиванием и/или фильтрацией.

Осветленный раствор, содержащий растворенный цианистый водород, подщелачивают до требуемой величины  $\text{pH} = 10,5\text{--}11,0$  гидроксидом натрия, при этом в растворе образуется цианид натрия:



Далее, при необходимости, раствор доукрепляют цианидом натрия и используют в обороте.

Осадок состоит в основном из сульфида меди и представляет собой медный концентрат с содержанием меди более 55 %. Его рекомендуется реализовывать в качестве товарной продукции.

#### **Результаты лабораторных исследований, проведенных на оборотных растворах сорбционного цианирования флотоконцентрата**

Процесс кондиционирования был осуществлен в оптимальных для извлечения меди условиях. Расход сульфида – 1 стехиометрия по отношению к меди,  $\text{pH} = 3,0\text{--}4,0$ . Расход  $\text{Na}_2\text{S}$  (100 %) находился на уровне  $3,0 \text{ кг/м}^3$  исходного раствора, расход  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (100 %) –  $11,2 \text{ кг/м}^3$ . Продолжительность обработки раствора сульфидом натрия – 2,5 мин, продолжительность подкисления – 2,5 мин. После отделения осадка путем фильтрования раствор подщелочили до  $\text{pH} = 11,0$ . Расход NaOH (100 %) составил  $5,6 \text{ кг/м}^3$ . Продолжительность подщелачивания – 2,5 мин. Химический состав раствора до и после кондиционирования приведен в табл. 3.

Таблица 3

#### **Химический состав раствора до и после кондиционирования**

Определяемые ингредиенты	До кондиционирования	После кондиционирования
pH	10,0	11,0
Концентрация, мг/л		
Цианиды общие	5300,0	5300,0
Цианиды свободные	360,0	4450,0
Тиоцианаты	1190,0	1550,0
Алюминий	0,34	0,26
Мышьяк	36,8	11,1
Кадмий	0,003	0,003
Кобальт	1,04	0,98
Медь	4874,3	492,6
Железо	14,7	0,5
Серебро	1,14	<0,05
Золото	<0,01	<0,01
Марганец	13,8	11,6
Свинец	0,04	0,04
Никель	0,47	0,38
Цинк	37,9	1,56

Как видно из полученных данных (табл. 3), технология позволила снизить содержание меди в оборотном технологическом растворе на 92,8 %, возврат цианида в процентах, от связанного медью, составил 91,4 %. Из 1 м<sup>3</sup> раствора было регенерировано 7,7 кг цианида натрия, в медный концентрат извлечено 4,38 кг меди.

Химический состав образующегося осадка приведен в табл. 4.

Таблица 4

## Химический состав полученного осадка

Компонент	Массовая доля компоненты, %
Cu	57,5
S <sub>общ</sub>	28,7
SiO <sub>2</sub>	5,4
TiO <sub>2</sub>	0,017
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,2
CaO	0,59
K <sub>2</sub> O	0,36
MnO	0,16
Fe <sub>общ</sub>	0,27
Zn	1,4
Pb	0,06
As	0,23
Ni	<0,001
Co	<0,001
Cd	0,005
Ag	100 г/т

Как видно из полученных данных, содержание меди в осадке 57,5 %. Масса образовавшегося осадка 7,6 кг/м<sup>3</sup>.

**Лабораторно-укрупненные испытания, проведенные на оборотных растворах сорбционного цианирования флотоконцентрата**

Технология регенерации цианида предполагает наличие системы оборотного водоснабжения. Для определения возможности многократного использования оборотного раствора после сульфидного осаждения меди и регенерации цианида было осуществлено четыре цикла операций «Цианирование–Регенерация» (табл. 5).

Таблица 5

**Данные четырех циклов «Цианирование–Регенерация» оборотного технологического раствора концентратов**

Номер цикла	До кондиционирования				Загрузка сульфида натрия, % стехиометрии	После кондиционирования						Извлечение золота, %	Расход свежего NaCN, кг/т
	C <sub>(Cu)своб</sub> , мг/л	C <sub>(CN)общ</sub> , мг/л	C <sub>(CN)своб</sub> , мг/л	C <sub>(SCN)</sub> , мг/л		C <sub>(Cu)своб</sub> , мг/л	Выведено Cu в медный концентрат, %	C <sub>(CN)общ</sub> , мг/л	C <sub>(CN)своб</sub> , мг/л	Возврат цианида, от связанного с медью, %	C <sub>(SCN)</sub> , мг/л		
1	4667	4830	500	1400	60	2097	55,1	4830	3110	60,2	1430	63,9	9,3
2	4874	5300	360	1190	100	492	89,9	5300	4450	82,6	1550	62,9	8,5
3	5139	6620	1070	2780	100	699	86,4	6620	5910	87,2	2900	67,9	5,6
4	5076	5720	570	3400	100	175	96,5	5720	5540	96,5	2700	63,5	5,8

Цианирование осуществляли в следующих режимах: отношение Ж : Т = 2 : 1, концентрация NaCN – 3,5 г/л, загрузка активированного угля 10 ‰, продолжительность процесса – 24 ч, pH 10,5–11, крупность материала – 90 % класса минус 0,074 мм. Полученную пульпу фильтровали, кек анализировали на содержание золота, а раствор поступал на осаждение меди сульфидом натрия с одновременным подкислением раствора до pH = 3,0–4,0 и регенерацией NaCN. Далее технологический оборотный раствор подщелачивали (pH = 10,5–11), анализировали на содержание свободного цианида, при необходимости доукрепляли, а затем его снова подавали в процесс извлечения золота.

В ходе проведения четырех циклов «Цианирование–Регенерация» при стехиометрическом расходе сульфида из раствора в медный концентрат было выведено 86–96 % меди, возврат цианида в процентах от связанного медью составил 82–96 %. Из 1 м<sup>3</sup> раствора регенерировано в среднем 9,9 кг цианида натрия, в медный концентрат извлечено 4,6 кг меди.

В ходе многоцикловых испытаний при 100%-ной загрузке сульфида натрия (от стехиометрии) установлено, что после операции кондиционирования наблюдается незначительное увеличение концентрации тиоцианатов в растворах. В циклах 3 и 4 концентрация тиоцианатов стабилизируется практически на одном уровне. При необходимости концентрация тиоцианатов в растворах легко снижается за счет уменьшения расхода сульфида натрия (90 % от стехиометрического).

Как видно из полученных данных, в среднем за 4 цикла «Цианирование–Регенерация» расход цианида натрия сократился с 25,0 кг/т до 7,3 кг/т. В четвертом цикле цианирования расход свежего NaCN составил 5,8 кг/т.

Извлечение золота в раствор за 4 цикла цианирования оборотных растворов с предварительным их кондиционированием практически не изменилось и составило около 62,9–67,9 %.

Принципиальная схема лабораторных исследований приведена на рис. 1.

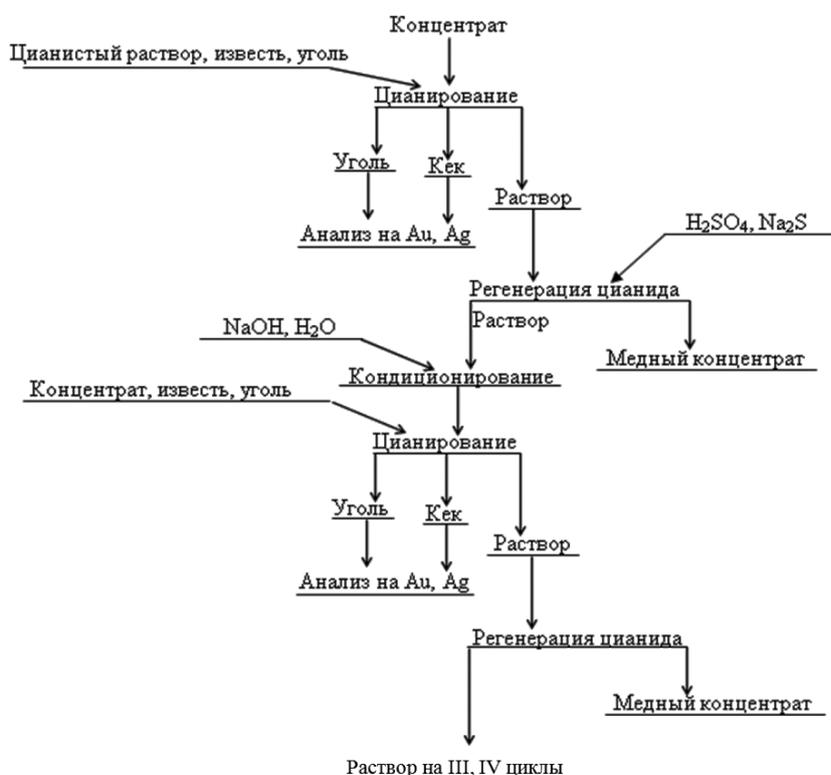


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема лабораторных исследований

### Заключение

Технология регенерации цианида в оборотных растворах сорбционного цианирования флотоконцентрата позволяет в среднем за четыре цикла «Цианирование–Регенерация» снизить расход цианида натрия с 25,0 до 7,3 кг/т.

В ходе проведения четырех циклов «Цианирование–Регенерация» при стехиометрическом расходе сульфида из раствора в медный концентрат было выведено 86–96 % меди, возврат цианида в процентах от связанного медью составил 82–96 %. Из 1 м<sup>3</sup> раствора регенерировано в среднем 9,9 кг цианида натрия, в медный концентрат извлечено 4,6 кг меди.

Результаты исследований рекомендуется использовать для разработки технологического регламента для проектирования предприятия по переработке флотоконцентрата Березняковского месторождения ОАО «ЮГК».

### Литература

1. Mike D. Adams. Advances in gold ore processing. – Mutis Liber Pty Ltd., Guildford, Western Australia: Elsevier Science & Technology, 2001. – 1076 p.
2. Lorosch, J. Process and Environmental chemistry of cyanidation. – Frankfurt am Main: Degussa AG, 2001. – 504 p.
3. Patent 4587110 US. Process of recovering copper and of optionally recovering silver and gold by a leaching of oxide- and sulfide-containing materials with water-soluble cyanides // Potter G. M., Bergmann A., and Haidlen U. 06.05.1986. – 6 p.
4. Файберг, А. А. Селективное кондиционирование оборотных растворов кучного выщелачивания с повышенным содержанием меди / А. А. Файберг, В. Ф. Петров, Г. И. Войлошников // Экология и пром. России. – 2010. – Июнь. – С. 51–53.
5. Файберг, А. А. Перспективы использования сульфидной технологии кондиционирования оборотных растворов с повышенным содержанием меди / А. А. Файберг, В. Ф. Петров, Г. И. Войлошников // Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии : материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф. WASMA, 2009. – М. : Гинцветмет, 2009. – С. 57–60.
6. Файберг, А. А. Технология селективного кондиционирования оборотных растворов кучного выщелачивания с повышенным содержанием меди / А. А. Файберг, В. Ф. Петров, Г. И. Войлошников // Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии : материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. WASMA, 2008. – М. : Гинцветмет, 2008. – С. 49–50.
7. Файберг, А. А. Перспективы использования сульфидной технологии кондиционирования оборотных растворов с повышенным содержанием меди / А. А. Файберг, В. Ф. Петров, Г. И. Войлошников // Инновационные процессы в технологиях комплексной, экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья : материалы междунар. совещ. (Плаксинские чтения). – Новосибирск : Ин-т гор. дела СО РАН, 2009. – С. 292–293.
8. Файберг, А. А. Технология сульфидного кондиционирования цианидных и аммиачно-цианидных оборотных растворов с повышенным содержанием меди / А. А. Файберг, В. Ф. Петров, Г. И. Войлошников // VII Конгресс обогатителей стран СНГ. – М. : МИСиС, 2009. – С. 345–348.
9. Файберг, А. А. Технология кондиционирования оборотных растворов, образующихся при переработке руд с повышенным содержанием меди / А. А. Файберг // Вестн. ИрГТУ. – 2010. – № 4. – С. 163–165.

10. Способ кондиционирования цианосодержащих оборотных растворов переработки золотомедистых руд с извлечением золота и меди и регенерацией цианида : патент 2443791 С1 РФ, С22В11/08, С22В15/00 / В. Ф. Петров, А. А. Файберг, С. В. Петров, Г. И. Войлошников ; заявитель ОАО «Иргиредмет». – № 2010129019/02, заявл. 13.07.2010 ; опубл. 27.02.2012.

*Получено 23.10.2013 г.*