

УДК 502. 55

Т.Н. Александрова, Л.Н. Липина

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ЦИАНИСТЫХ СТОКОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Проведен сравнительный анализ методов обезвреживания цианистых стоков при переработке золотосодержащих руд на примере одного из предприятий Хабаровского края. На основании проведенных исследований установлено, что отходы золотодобычи способствуют созданию интенсивных литохимических ореолов загрязнения экосистем. Применение гипохлоритов оказывает дополнительное негативное воздействие на окружающую среду. Обосновано, что применение методов с использованием сернистого газа с попутным получением серной кислоты является наиболее эффективным.

Ключевые слова: обезвреживание цианистых стоков, загрязнение экосистем, процесс ИНКО.

Семинар № 10

Несмотря на значительное количество научно-технических разработок в области металлургического передела, преобладающее применение получили технологии цианидного вскрытия золота на действующих (ЗАО «Многовершинное», ОАО «Охотская горно-геологическая компания»; рудники: Покровский, Рябиновый и др.) и проектируемых предприятиях (Албазинское, Дурминское и др.). В экологическом отношении рудные месторождения и их первичные ореолы представляют собой природные очаги химического загрязнения среды тяжелыми металлами, а возникающие при промышленном освоении продукты техногенеза формируют экологически опасные ореолы и потоки рассеивания, негативно влияющие на состояние и метаморфизацию экосистем [1]. В этой связи, оценка эффективности существующих и разработка новых методов обезвреживания цианидсодержащих стоков и является актуальной целевой задачей.

В процессе эксплуатации на золотоизвлекательных фабриках (ЗИФ) образуются сточные воды сложного состава, содержащие токсичные компоненты. Жидкая фаза хвостов содержит такие вредные химические компоненты, как: цианид- и роданид- ионы, комплексные цианистые анионы железа, цинка, никеля и т.п. Значительная часть цианидов находится в пульпе в виде простых солей – NaCN , KCN , $\text{Ca}(\text{CN})_2$, т.е. в форме реагентов, используемых при цианировании. Синильная кислота образуется в стоках в результате гидролиза солей или их взаимодействия с кислотами. В результате реагирования простых водорастворимых цианидов с компонентами твердой и жидкой фаз пульпы образуются простые нерастворимые в воде и комплексные нерастворимые цианиды [2]. Формы присутствия цианидов и их концентрация в сточных водах ЗИФ зависят от минерального состава руды, ионного состава воды и концентрации цианида в технологи-

ческих растворах. Пульпа после проведения сорбционного цианирования является отвальной и подлежит утилизации. Однако наличие в хвостовой пульпе ионов цианида требует проведения операции обезвреживания до предельно допустимых значений. Кроме естественного разложения цианидов, существует несколько способов обезвреживания цианидных пульп, применяемых на практике: обработка гипохлоритом натрия (щелочное хлорирование); продувка сернистым газом (SO₂) – процесс INCO, озоном, газообразным хлором; обработка пероксидом (перекисью) водорода – метод Дегусса; биораз-

ложение. Кроме того, существуют способы цианосорбции, разложения в автоклаве, с использованием солей железа [3]. Методы обезвреживания цианосодержащих сточных вод можно условно разделить на три основные группы: окисление цианидов до нетоксичных цианатов; перевод цианидов в труднорастворимые осадки; связывание цианидов в нетоксичные комплексные соединения [4]. Анализ практики работы ряда зарубежных фабрик (табл. 1), показал, что широко распространенным является процесс окисления цианидов смесью сернистого ангидрида и воздуха – процесс INCO (Канада).

Таблица 1

Практика работы некоторых зарубежных золотодобывающих предприятий, перерабатывающих коренные руды

Предприятия	Тип руды	Содержание золота	Технология извлечения золота	Метод обезвреживания хвостов обогащения
Предприятия США 1. Завод «Пайплайн» (Pipeline) шт. Невада	Окисленные руды (95 %), карбонатные (5 %)	10,5 г/т	Метод кучного выщелачивания (КВ)	Обезвреживание гипохлоритом [5]
2. «Форт Нокс» (Fort Knox) шт. Аляска	Малосульфидные, кварцевые	0,86 г/т	Гидрометаллургическая схема по методу «смола в пульпе» (RIP – процесс)	Процесс INCO с продувкой сернистого газа (SO ₂) через пульпу [6].
Предприятия Канады 1. «Исэй Крик» (Eskay Creek)	Сульфидные с большим количеством вредных примесей	50-147 г/т	Гравитационно-флотационная	Продувка сернистым газом, складирование хвостов обогащения в полусухом виде [7].
2. Рудник «Мусельвайт» (Musselwhite)	Коренные, кварцевые руды	5,62 г/т	Гравитационно-сорбционная	Метод продувки сернистым газом в присутствии катализатора [8].
3. Компания «Ричмонт Майн ЛТД» (Richmont mint Ltd) провинция Квебек	н/д	9-18 г/т	Гравитационно-сорбционная	Продувка сернистым газом [9].

Продолжение табл. 1

Предприятия	Тип руды	Содержание золота	Технология извлечения золота	Метод обезвреживания хвостов обогащения
Индонезия 1. ЗИФ «Минахаса»	Сульфидные, содержащие ртуть, упорные	7,8 г/т	Сорбционное цианирование в цикле по методу «уголь в пульпе» (СІР-процесс), метод КВ	Обезвреживание хвостов цианирования осуществляют в две стадии методом INCO [10].
Турция 1. Предприятие «Овадик» (Ovacik Gold Mine г. Бергама	Золотосеребряные	9–12 г/т	СІР-процесс	Методом INCO с продувкой сернистым газом в присутствии катализатора [11]
Предприятие «Омай» (Omai gold Mines Ltd) в 160 км от г. Джорджтауна	Руды легкообогатимые, без вредных примесей с содержанием сульфидов менее 0,5%	1,5 г/т	СІР-процесс	Хвосты обогащения после обезвреживания методом INCO перекачивают в хвостохранилище. Осветленную воду возвращают в оборот [12]
Испания ЗИФ «Рио Нерсия» (Rio Nерsea Gold Mine), г. Салас	Руды – коренные, карбонатные, вмещающие породы – известняки, доломиты.	4,92 г/т	СІР-процесс	Для обезвреживания хвостов цианирования используют процесс INCO с сернистым газом [13]

Основным объектом исследования одно из предприятий по переработке рудного золота Хабаровского края. Расположение предприятия в рыбоохранной зоне Охотского моря обуславливает жесткие требования к остаточной концентрации циан-содержащих веществ в промышленных стоках ЗИФ. Для обезвреживания стоков на ЗИФ действует обезвреживающая установка для нейтрализации остаточного цианида гипохлоритом кальция. В результате обработки простые и комплексные цианиды окисляются до цианатов. При этом катионы цветных металлов

выпадают в осадок. К недостаткам данного метода следует отнести высокий расход реагентов и возможность образования стойких органохлоридов. Это обстоятельство, а также относительно высокие затраты на реагенты стимулируют поиск альтернативных методов обезвреживания. Производственные сточные воды, образующиеся на фабрике, сбрасываются в хвостохранилище овражно-балочного типа. Сравнительная характеристика показателей качества воды, отобранных в разных точках, приведена на рис. 1, 2 (усредненные данные за 2007 г.).

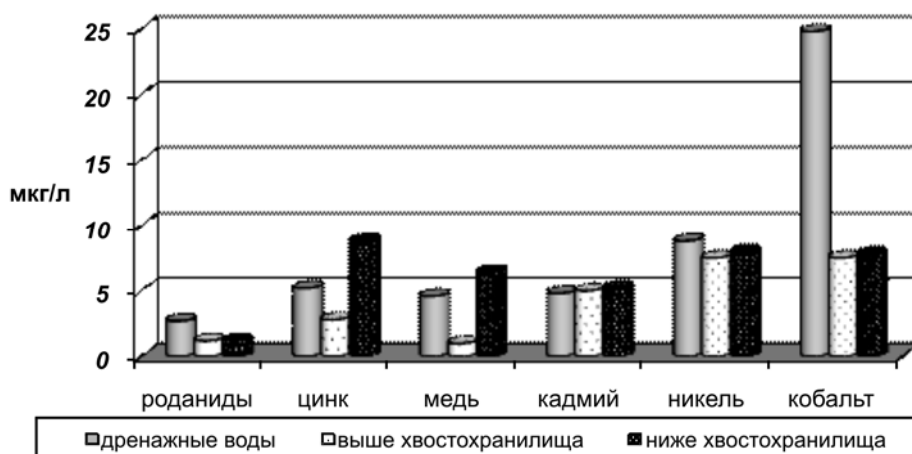


Рис. 1. Содержание химических загрязнителей в воде

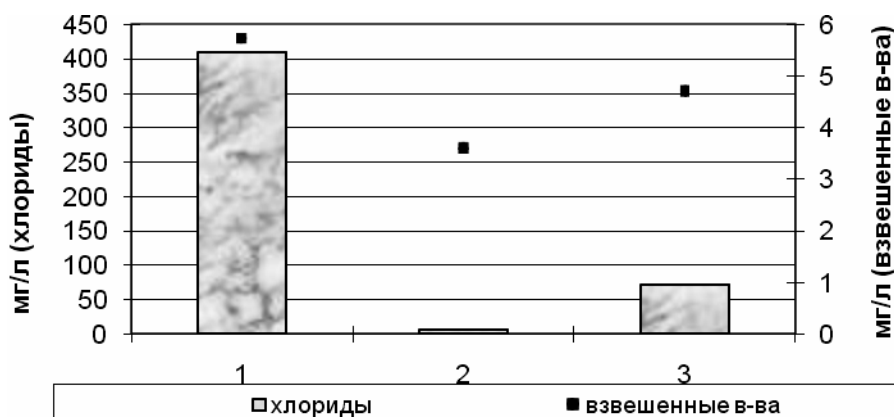


Рис. 2. Содержание хлоридов и взвешенных веществ в воде: 1 – в дренажных водах, 2 – выше хвостохранилища, 3 – ниже хвостохранилища

В ручей ежегодно поступает значительное количество дренажных вод из-под дамбы и ложа хвостохранилища не улавливаемых дренажными сооружениями – аккумулярующим прудком и дренажной галереей.

Анализ данных показывает, что содержание хлоридов в дренажных водах превышает их содержание в пробах, отобранных выше хвосто-

хранилища в 61 раз, а в пробах воды, отобранных в ручье ниже хвостохранилища – в 10 раз, что свидетельствует о значительном перерасходе гипохлорита кальция, применяемого для обезвреживания цианидных стоков.

Анализ научно-исследовательских работ по обезвреживанию методом SO₂/воздух, проведенных на опытно-промышленной установке по обез-

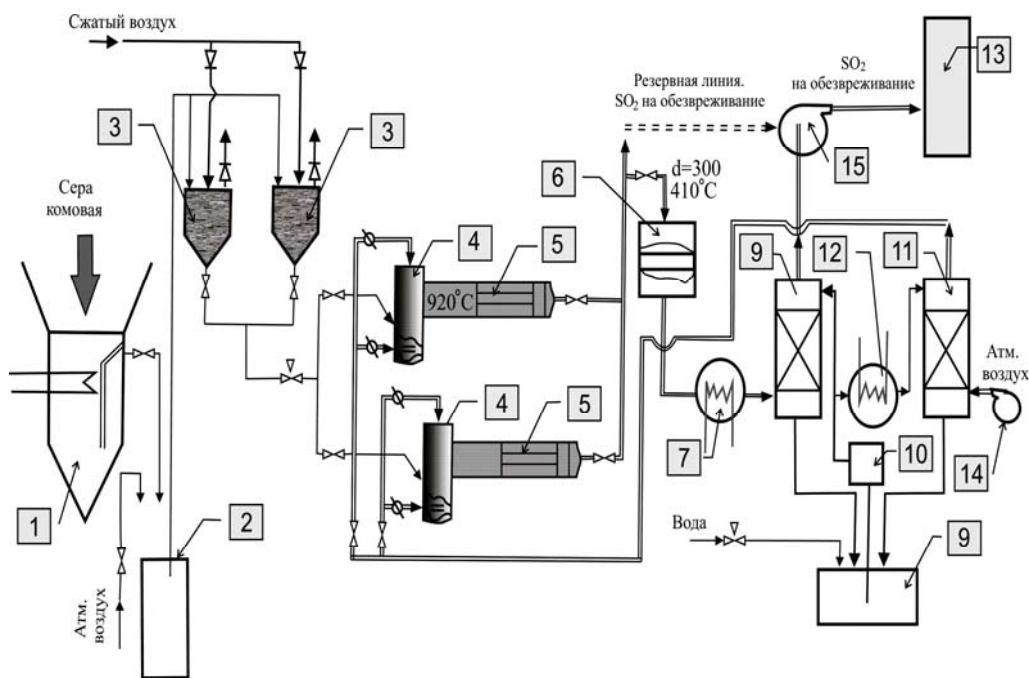


Рис. 3. Принципиальная аппаратно-технологическая схема получения SO_2 содержащего газа с попутным получением серной кислоты: 1 – бункер плавилка; 2 – монтажу; 3 – напорные бачки; 4 – серная печь; 5 – парогенератор; 6 – контактный аппарат; 7 – охладитель газа; 8 – абсорбер SO_2 ; 9 – циркулярный сборник; 10 – кислотный насос; 11 – сушильная башня; 12 – холодильник кислоты; 13 – пачук обезвреживания; 14 – воздуходувка; 15 – турбокомпрессор

вреживанию хвостов цианирования, показал, что возможны три варианта обезвреживания по методу INCO. Первый вариант предусматривает обезвреживание хвостовой пульпы метабисульфитом натрия ($Na_2S_2O_5$), получаемым путем сжигания серы и улавливания щелочью сернистых газов. Второй вариант предусматривает обезвреживание хвостов ЗИФ метабисульфитом натрия с предварительной отгонкой свободных цианидов путем обработки хвостовых пульп серной кислотой, после чего пары синильной кислоты улавливаются щелочью с получением цианистого натрия. Такой вариант позволит уменьшить расход обезвреживающего агента и вернуть в технологию ЗИФ

около 50 % (от исходного раствора) цианистого натрия. Третий вариант предусматривает обезвреживание хвостов подачей газа SO_2 непосредственно в пачук (рис. 3).

Эффективность очистки от цианидов для всех вариантов обезвреживания приблизительно одинакова. Очистка хвостовой пульпы от роданидов при использовании метода SO_2 /воздух незначительна (улавливается ~ 20 %). Однако, при использовании метода обезвреживания гипохлоритом кальция установившаяся концентрация хлоридов в жидкой фазе пульпы возрастет до 1,99 г/л, а при использовании метода SO_2 /воздух концентрация сульфатов увеличится до 0,6 г/л. Поэтому, для оценки влияния ме-

тодов обезвреживания на состав жидкой фазы обезвреженной пульпы в условиях водооборота из хвостохранилища и для оценки влияния вводимых при обезвреживании ингредиентов (хлоридов или сульфатов) на процесс извлечения золота, необходимо провести исследования по использованию оборотной воды в технологических переделах и определить границы содержания этих компонентов в оборотной воде на различных переделах ЗИФ.

Третий вариант обезвреживания позволяет получить серни-

стый газ и серную кислоту на одной установке и не предусматривает запаса обезвреживающего агента. Данная технология позволит обеспечить существующее производство ЗИФ серной кислотой в полном объеме, что исключит необходимость завоза серной кислоты и снизит экологическую опасность, связанную с ее перевозкой. Технико-экономическое сравнение вариантов показало целесообразность внедрения по второму и третьему варианту, срок окупаемости которых менее года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Т.Н.* Развитие методов оценки и управления эколого-технологическими системами при рудной и россыпной золотодобыче и использовании вторичного сырья в Дальневосточном регионе. Автореферат дисс. докт. техн. наук, Хабаровск, 2008 – 32 с.
2. *Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С.* Металлургия благородных металлов/ Ю.А.Котляр, М.А. Меретуков, Л.С. Стрижко. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2005. – Том 2. – 391 с.
3. *Царьков В.А.* Опыт работы золотоизвлекательных предприятий мира. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2004. – 112 с.
4. *Седельникова Г.В., Романчук А.И.* Эффективные технологии извлечения золота из руд и концентратов.//Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья / Под. ред. В.А. Чантурия. – М.: «Руда и металлы», 2008. – С. 121-133
5. *Desing and startup of Cortez Gold Mining Pipeline mill* // Mining Engineering, 1999, August. – Vol.51. – № 8.
6. *Carter R.A.* Fort Know Banks on a golden future // Engineering Mining Journal, 1997. – August.
7. *Eskay Greek mine and Mill – a continuing success* // Mining Engineering, 2000, January.
8. *Wernik J.* Miracle on Opap Lake // Engineering Mining Journal. – 1997, June.
9. *Nugger pond mine – new life in an old district* // Engineering Mining Journal, 1998, April.
10. *Newmont: a major player in Indonesia* // Engineering Mining Journal, 2002, March.
11. *Koksal E.* Gold ore treatment at Ovasik Gold Mine // IX International Mineral Processing Symposium, Cahhadocia, Turkey, 2002.
12. *Veillette G.H.* Developing a property offshore: the Omai Gold Mines story // CIM Bull, 1995. – Vol. 88. – № 993. – September.
13. *Rio Nercea jngoim growth* // Mining Magazine, 2000. – Vol.182. – №2. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Александрова Т.Н. – доктор технических наук, заведующая лабораторией, Институт горного дела ДВО РАН, IGD@rambler.ru
Липина Л.Н. – старший инженер, Институт горного дела ДВО РАН, IGD@rambler.ru