

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №1, Том 10 / 2018, No 1, Vol 10 <https://esj.today/issue-1-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/18ECVN118.pdf>

Статья поступила в редакцию 26.01.2018; опубликована 16.03.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Воробьев К.А., Чекушина Т.В. Переработка отходов обогащения золотосодержащих руд // Вестник Евразийской науки, 2018 №1, <https://esj.today/PDF/18ECVN118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Vorobyev K.A., Chekushina T.V. (2018). Processing of waste disposal of gold-containing ores. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(10). Available at: <https://esj.today/PDF/18ECVN118.pdf> (in Russian)

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (научный проект № 16-05-00818)

УДК 622.002

Воробьев Кирилл Александрович

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

Бакалавр

E-mail: k.vorobyev98@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5792-3979>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=887256

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193517186>

Чекушина Татьяна Владимировна

ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН», Москва, Россия¹

Ведущий научный сотрудник отдела горной экологии

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

Доцент департамента «Геологии, горного и нефтегазового дела»

Доктор экономических наук, кандидат технических наук

E-mail: council-ras@bk.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9261-1105>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=61549

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=8848759700>

Переработка отходов обогащения золотосодержащих руд

Аннотация. Переработка отходов обогащения золотосодержащих руд из накопленных техногенных минеральных объектов, в первую очередь, из отвалов, хвостов и воды, приобретает актуальность для множества золотодобывающих компаний, с низкими сырьевыми запасами. В данной работе авторами была исследована возможность предварительной переработки исходных отходов путем обезвреживания цианидных стоков с целью повышения содержания золота. Рассмотрены различные методы, способные обезвредить цианиды в отработанном штабеле и растворах, в частности, метод Деусса и обработка отходов раствором Кастона. В результате изучения большого массива данных по применению различных реагентов для экологизации процесса переработки отходов обогащения золотосодержащих руд можно сделать вывод о преимуществе применения пероксида водорода. Представлены схемы обезвреживания цианидов пероксидом водорода и результаты обезвреживания цианидсодержащих растворов. Авторами было произведено аналитическое обоснование метода Деусса, при котором был существенно снижен уровень общего цианида до 1 мг/л и менее в зависимости от состава исходного материала при расходах пероксида водорода,

¹ 111020, Москва, Крюковский туп., 4

превышающих в два-шесть раз стехиометрическое количество. Поставленная задача природоохранной деятельности на сегодняшний день заключается в обезвреживании технологических растворов основных производственных процессов.

Ключевые слова: золото; переработка отходов; обогащение руд; цианидные стоки; золотосодержащие отходы

Технология кучного выщелачивания в золотодобывающей промышленности в России применяется с 1990 г. Начиная с этого времени было введено в эксплуатацию более двадцати восьми опытно-промышленных установок КВ на месторождениях «Майское» и «Чазы-Гол» в Хакасии, «Куранахское рудное поле», «Лопуховское», «Самолазовское», «Таборное» и «Межсочное» в Якутии, «Муртыкты» и «Западно-Озерное» в Башкортостане, «Кировское» в Оренбургской, «Сафьяновское» и «Воронцовское» в Свердловской обл., «Кочкарское», «Светлинское» и «Березняковское» в Челябинской обл., «Комсомольская залежь» в Хабаровском крае, «Покровское» и «Бамское» в Амурской обл., «Дельмачик» и «Богомоловское» в Читинской обл., «Мурзинское» в Алтайском крае, «Бабгора» и «Эльдорадо» в Красноярском крае и некоторых других месторождениях. Большинство объектов расположены в регионах с суровым климатом – в Якутии, на севере Амурской, Читинской областях, в Хабаровском, Красноярском краях, на Северном Урале [5].

На золотодобывающих предприятиях по технологии кучного выщелачивания переработано около 33 млн т природного и техногенного минерального сырья, преимущественно золотых руд. Среднегодовой объем переработки в период с 1990 по 2017 гг. составляет около 5 млн т золотосеребросодержащего рудного сырья.

В процессе ведения горных работ на карьере, а также в процессе обогащения и переработки полезного ископаемого возникают неизбежные изменения окружающей среды. Воздействие таких работ отражается на всех элементах окружающей среды: литосфере, всей гидросфере и нижней части атмосферы земли. Перечисленные элементы окружающей среды, образующие в совокупности биосферу, непосредственно воспринимают техногенную нагрузку открытых горных работ и перерабатывающей промышленности.

Техногенные загрязнения водных объектов, атмосферного воздуха и почв прямо связаны с образованием твердых, жидких и пылегазообразных отходов горного производства, содержащие в своем составе различные токсичные химические вещества и соединения.

Эффективность их нейтрализации и устранения во многом зависит от степени совершенства природоохранной деятельности, осуществляемой практически на каждом горнодобывающем предприятии с учетом природно-климатических и производственно-технических условий [7].

Актуальной задачей природоохранной деятельности на сегодняшний день является обезвреживание технологических растворов основных производственных процессов.

Необходимая глубина очистки сточных вод от техногенных загрязнений (взвешенные вещества, минеральные соли и соли тяжелых металлов и т. д.) при сбросе их в водные объекты определяются состоянием водоема-приемника и степенью их разбавления в зависимости от предельно-допустимых концентраций (ПДК) различных загрязняющих ингредиентов.

Сброс сточных вод в водные объекты горнодобывающей промышленности регламентируются действующими «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», согласно которым для каждого выпуска устанавливается предельно допустимый сброс (ПДС), утвержденный соответствующими контролирующими органами [8].

После завершения кучного выщелачивания в системе «переработанная горная масса – технологические растворы» остаются остаточные цианиды и ряд тяжелых металлов [3].

Высокая токсичность цианидных стоков не позволяет сбрасывать их без предварительной очистки, так как это может привести к загрязнению водоемов и поверхностных вод. Цианистые стоки установок КВ перед транспортировкой на хвостохранилище обезвреживают [2, 6]. Эти растворы имеют pH=10-12 и следующее содержание компонентов (мг/л):

Сухой остаток-200-250;	Мышьяк – 0,8-1;	Медь – 1-40;
Роданиды – 10-50;	Сульфаты – 400-600;	Цинк – 1-15;
Кальций – 600-800;	Цианиды – 400-1500;	Хлориды – 30-50.
Свинец – 0,7-1;	Магний – 10-20;	

Основным источником опасности на площадках КВ являются цианиды. Некоторые из соединений цианидов являются высокотоксичными, а другие относительно безвредными. Наиболее токсичным является циановодород (HCN). В обычных условиях это газ, который легко реагирует в окружающей среде с образованием токсичных и нетоксичных соединений. Свободный цианид существует в двух видах: цианид-иона (CN^-) и молекулярного циановодорода (HCN).

Свободный цианид является ядом для человека, млекопитающих и водной фауны. Летальные дозы для человека зависят от формы контакта:

- при попадании внутрь – 1-3 мг/кг веса;
- при ингаляции – 10-30 мг/л;
- при абсорбции через кожу – 100 мг/кг веса.

ПДК свободных цианидов изменяется от 0,028 до 2,295 мг/л, в зависимости от видов живых организмов и условий их обитания. Принято считать, что концентрация более 0,1 мг/л убивает живые организмы в пресной и морской воде. Концентрация равная 0,05 мг/л может быть смертельной для рыбы.

На степень токсичности цианида влияют такие факторы как pH, температура, содержание кислорода в воде, ионная сила, особенности и размеры организмов.

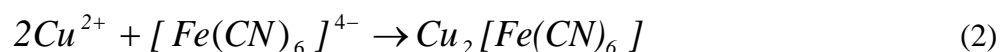
С позиции охраны окружающей среды горная масса и технологические растворы должны быть обезврежены от цианид-ионов и комплексных цианидов анионов тяжелых металлов (цинка, меди и т. д.).

Существует большое число методов, способных обезвредить цианиды в отработанном штабеле и растворах, содержащихся в нем [3]. Рассмотрим подробнее некоторые из них.

Цианидные комплексы металлов превращаются в цианаты и нерастворимые гидроксиды металлов. Цианаты в конечном счете образуют аммоний и карбонат. В качестве примера рассмотрим окисление меди:



Для удаления ферроцианида добавляют растворимую соль меди, которая образует нерастворимый осадок купроферроцианида:



Для пероксидной обработки требуется поддерживать небольшую щелочность, pH примерно 8,0-8,5 и обеспечить достаточное время для протекания реакции. Важно определить

соответствующую скорость введения H_2O_2 . При соблюдении всех этих условий преимущество обработки растворов по сравнению с подачей реагента на штабель оказываются более очевидными. Тем более что в прудках происходят процессы естественного разложения (воздействие солнечного света), что сокращает содержание цианидов. Препятствием для пероксидного обезвреживания является присутствие окисляемых и катализируемых H_2O_2 веществ, таких как медь, которые потребляют H_2O_2 , к цианидных соединений, которые не поддаются разрушению пероксидом водорода.

На рис. 1 изображена общая схема пероксидного обезвреживания цианидов [1]. Запатентованы два процесса, использующие этот метод: Дегусса и Кастона. Их используют в промышленности на золотоизвлекательных фабриках во всем мире и применяют для полномасштабного обезвреживания штабелей КВ.

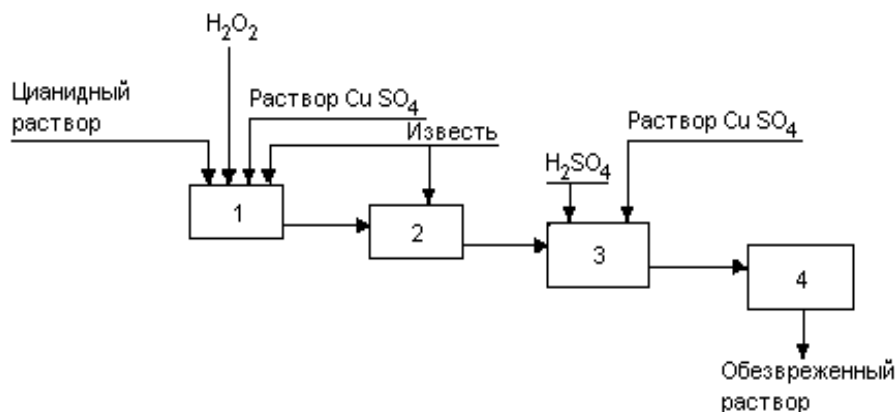


Рисунок 1. Схема обезвреживания цианидов пероксидом водорода: 1, 2 и 3 – емкости для обработки; 4 – прудок осветления [9]

Впервые метод Дегусса был использован на руднике Ок-Тедн (Папуа-Новая Гвинея) в 1984 г.

Результаты обезвреживания цианидсодержащих растворов приведены ниже в табл. 1.

Таблица 1

Результаты обезвреживания цианидсодержащих растворов

Вредные компоненты	Свободный цианид	Общий цианид	Медь	цинк
Концентрация, мг/л:				
Начальная	50-100	110-300	50-100	10-30
После обработки	0,02	1-10	0,3	0,1

Произошло не только удаление цианида, но и концентрация меди и цинка снизилась до приемлемого уровня.

Метод Дегусса применяют для самых разнообразных отвальных продуктов: пульпы, растворов, промывочных вод и т. д. Данный метод снижает уровень общего цианида до 1 мг/л и менее в зависимости от состава исходного материала при расходах пероксида водорода, превышающих в два-шесть раз стехиометрическое количество. Достижение указанных уровней по цианидам обеспечивается в течение времени от 5 мин. до 2 ч [1]. Более длительное время требуется для разрушения цианидов никеля, меди, марганца и сульфидных материалов.

В зависимости от условий, помимо пероксида водорода, в процессе требуются серная кислота и известь для контроля pH, сульфат окисного железа для осаждения мышьяка и сурьмы, сульфат меди в качестве катализатора и запатентованный реагент (ТМТ-15) для удаления ионов

таких металлов, как ртуть. Поддерживаемое при этом значение рН 9-10,5 оптимизирует скорость гидролиза цианатов и определяет возможность образования аммония или более токсичных его форм. ТМТ-15 – 15%-ный раствор тризодимовой соли тримеркаптоотриазина, образующей высокопрочные комплексные соли металлов, которые осаждаются в осадительных прудках [10].

Раствор Кастона – бесцветная жидкость, смешивающаяся во всех пропорциях с водой. Эта смесь реагентов состоит из 41-50 % пероксида водорода, 5-10 мг/л формальдегида и 5 мг/л меди. Формальдегид является активатором в процессе окисления цианидов, медь – катализатором. Оптимальное значение рН раствора 8,5-10, температура раствора 30 °С. При достаточно высокой концентрации пероксида водорода (75-100 мг/л) требуется менее двух часов для достижения концентрации свободного цианида 0,2 мг/л. Кастон-процесс целесообразно использовать, когда в растворе присутствует большое количество тиоцианатов, потребляющих хлор до начала взаимодействия со свободным цианом. В Кастон-процессе ферроцианид переходит в нерастворимый осадок – купроферроцианид.

В отличие от щелочного хлорирования реагенты Кастон-процесса менее чувствительны к рН, и скорость их расходования относительно постоянна при изменении рН. Окисление цианидов пероксидом водорода рассматривают как один из эффективных методов обезвреживания цианидсодержащих растворов [11].

Преимуществом рассматриваемого метода является то, что в процесс не нужно вводить каких-либо веществ. Избыток пероксида водорода легко гидролизуется до воды и кислорода. Возможно образование аммония в процессе, но оно может быть исключено поддержанием соответствующего значения рН. Утверждается даже, что снижение концентрации цианидов с помощью пероксида водорода может быть столь значительным, что воду после очистки рекомендуют для питья (менее 0,2 мг/л CN^-) [4]. Однако этого можно достичь лишь при высоких расходах пероксида водорода и длительной обработке, что является дорогой операцией.

Прочно связанные металлоцианидные комплексы, в частности ферроцианиды, не удаляются пероксидом водорода, так же, как и тиоцианаты. Для их удаления необходима дополнительная обработка.

В результате изучения большого массива данных по применению различных реагентов для экологизации процесса переработки отходов обогащения золотосодержащих руд можно сделать вывод о преимуществе применения пероксида водорода, заключающемся в следующем:

- степень разложения общего свободного цианида составляет 91-99 %;
- при оптимальных условиях процесс легко осуществим, не требует строгого поддержания условий проведения;
- в процесс не вводят дополнительных реагентов;
- не выделяются такие отравляющие газы, как хлор;
- процесс можно осуществлять в щелочной среде, не способствуя этим окислению сульфидов и растворению содержащихся тяжелых металлов;
- в процессе образуются нерастворимые гидроксиды металлов, которые затем могут быть удалены из хвостовых растворов.

В тоже время следует отметить и недостатки технологии с применением пероксида водорода:

- в процессе не происходит удаления тиоцианатов и прочных металлоцианидных комплексных соединений;
- обращение с пероксидом водорода требует осторожности;
- присутствие некоторых катионов в перерабатываемых растворах, в частности никеля, может приводить к разложению пероксида водорода, вызывая высокий расход.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А.Е. и др. Способ выщелачивания полезных ископаемых из продуктивного пласта. Патент на изобретение RUS 2543232.
2. Воробьев А.Е., Чекушина Т.В. Классификация штабелей кучного выщелачивания металлов // Горный журнал. 1997. № 3. С. 36-42.
3. Воробьев А.Е., Чекушина Т.В. Кучное выщелачивание металлов. С. 541-559 // В кн.: Арнс В.Ж. Физико-химическая геотехнология – М.: МГУ, 2001. – 656 с.
4. Геоэкология / Семячков А.И., Воробьев А.Е., Дребенштедт К. / Учебное пособие для высших учебных заведений горно-географического профиля / Екатеринбург, 2012.
5. Гудков С.С., Дружина Г.Я., Татаринцов А.П. Итоги освоения технологии кучного выщелачивания в золотодобыче России // Цветные металлы. – 2007. – № 2. – С. 71-74.
6. Забельский В.К., Воробьев А.Е. проектирование предприятий для разработки золоторудных месторождений геотехнологическими методами // Горный журнал. 1996. № 1-2. С. 114-118.
7. Краткий справочник по открытым горным работам / Мельников Н.В. – М.: Недра, 1982. – 414 с.
8. Физико-химическая геотехнология золота / Воробьев А.Е., Каргинов К.Г. и др. / под ред. д.т.н., проф. Воробьева А.Е. – Владикавказ, Ремарко, 2001 – 568 с.
9. Gorichev I.G., Yashkichev V.I., Tishchenko E.A., Kuz'menko A.B., Khoroshilov A.V. Mechanisms for thermal degradation of $YBA_2Cu_3O_{7-x}$.
10. Vorob'ev A., Chekushina T., Vorob'ev K. Russian national technological initiative in the sphere of mineral resource usage // Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik. 2017. Т. 32. № 2. С. 1-8.
11. Vorob'ev A., Shchesnyak E., Singkh R., Vorob'ev K. Transition to advance technologies of subsoil use // Metallurgical and Mining Industry. 2017. № 2. С. 72-80.

Vorobyev Kirill Aleksandrovich

Russian university of people's friendship, Moscow, Russia
E-mail: k.vorobyev98@mail.ru

Chekushina Tatiana Vladimirovna

Melnikov institute of comprehensive exploitation of mineral resources, Russian academy of sciences, Moscow, Russia
Russian university of people's friendship, Moscow, Russia
E-mail: council-ras@bk.ru

Processing of waste disposal of gold-containing ores

Abstract. Processing of gold-bearing ore beneficiation wastes from accumulated technogenic mineral objects, primarily from dumps, tailings and water, becomes relevant for many gold mining companies with low raw material reserves. In this article, the authors investigated the possibility of pretreatment of initial wastes by neutralizing cyanide effluents in order to increase the gold content. Various methods are considered that can neutralize cyanides in waste effluents and solutions, in particular, the method of Deuss and waste treatment with a solution of Kaston. As a studying result a large array of data on the various use reagents for the ecologization of the process processing wastes of enrichment the gold-bearing ores, it can be concluded that the use of hydrogen peroxide is advantageous. The schemes of neutralizing cyanides with hydrogen peroxide and the results of neutralizing cyanide-containing solutions are presented. The authors carried out an analytical substantiation of the Deuss method, at which the level of total cyanide was reduced to 1 mg/l or less, depending on the composition of the initial material at hydrogen peroxide consumption, which is two to six times stoichiometric. The set task of environmental protection activities today is to neutralize technological solutions of the main production processes.

Keywords: gold; waste processing; ore dressing; cyanide runoff water; gold-containing waste