

Разработка технических решений для повышения эффективности переработки высокомедистой золотосодержащей руды

М.В. Залесов^{1,2}✉, В.А. Григорьева^{1,2}, В.С. Трубилов¹, А.Я. Бодуэн²

¹ АО «НПО «РИВС», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ m_zalesov@rivs.ru

Резюме: Для современной металлургической промышленности характерна тенденция снижения качества вовлекаемых в переработку руд, а для сырья со сложным составом традиционные методы извлечения полезных компонентов являются малоэффективными. Для поддержания растущего уровня производства металлов необходимо внедрение новых эффективных технологий переработки низкосортных, упорных руд и техногенных месторождений. В статье показаны методы переработки упорного сырья с высоким содержанием цианидов на примере медно-золотых руд, главную ценность которых представляет золото, а медь является сопутствующим полезным компонентом. Наиболее распространенным приемом переработки медно-золотых руд является предварительное обогащение с последующим селективным выщелачиванием меди и золота. В ряде случаев не менее эффективными вариантами переработки медно-золотых руд и концентратов являются технологии, предусматривающие попутное извлечение меди и регенерацию цианида из растворов цианидного выщелачивания. На золотодобывающих предприятиях медно-золотые руды перерабатываются с применением процесса цианирования, дополненного в необходимых случаях операциями гравитационного и флотационного обогащения. Во всех вариациях цианистого процесса большинство минералов меди активно взаимодействуют с цианидами щелочных металлов, связывая ионы CN^- в медный комплекс $[Cu(CN)_2]^{2-}$. В результате такого взаимодействия наблюдается повышенный расход растворителя, а также возникает ряд проблем, связанных с очисткой хвостов и пульпы от высокотоксичных цианистых соединений и растворенной меди. Помимо технологических осложнений, связанных с необходимостью соблюдения жестких требований по предельно-допустимой концентрации, накопленная медь в оборотных растворах также является причиной снижения извлечения золота из перерабатываемых руд.

Ключевые слова: упорные руды, золото, медь, флотация, цианирование, холодная десорбция, SART-технология

Для цитирования: Залесов М.В., Григорьева В.А., Трубилов В.С., Бодуэн А.Я. Разработка технических решений для повышения эффективности переработки высокомедистой золотосодержащей руды. *Горная промышленность*. 2021;(5):51–56. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-51-56.

Designing of engineering solutions to enhance efficiency of high-copper gold-bearing ore processing

M.V. Zalesov^{1,2}✉, V.A. Grigoreva^{1,2}, V.S. Trubilov¹, A.Ya. Boduen²

¹ RIVS Company, St. Petersburg, Russian Federation

² Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

✉ m_zalesov@rivs.ru

Abstract: The modern metals industry is characterised by a downward trend in the quality of ores involved in processing, and conventional methods of extracting useful components are inefficient for raw materials with complex composition. To maintain the growing level of metal production it is required to introduce new efficient technologies for processing of low-grade and refractory ores as well as man-made deposits. The article describes processing methods of refractory raw materials with high cyanide content using copper-gold ores as an example, where gold is the primary commodity, and copper is the accompanying useful component. The most common method of processing copper-gold ores is preconcentration followed by selective leaching of copper and gold. In some cases, technologies involving copper by-products and cyanide recovery from the cyanide leaching solutions offer equally effective options for processing of the copper-gold ores and concentrates. Copper-gold ores are processed at gold mines using the cyanide procedures, supplemented if required by gravity and flotation concentration. In all variations of the cyanide treatment, most of copper minerals actively react with cyanides of alkali metals, binding the CN^- ions into the copper complex of $[Cu(CN)_2]^{2-}$. This reaction results in an increased solvent consumption, as well as in number of challenges

related to cleaning tailings and slurries from highly toxic cyanide compounds and dissolved copper. In addition to technological complications associated with the need to meet strict requirements for the maximum permissible concentrations, copper accumulated in the cycling solutions also causes a decrease in gold extraction from the processed ores.

Keywords: refractory ores, gold, copper, flotation, cyanide procedures, cold desorption, SART-technology

For citation: Zalesov M.V., Grigoreva V.A., Trubilov V.S., Boduen A.Ya. Designing of engineering solutions to enhance efficiency of high-copper gold-bearing ore processing. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(5):51–56. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-51-56.

Введение

Для современной металлургической промышленности характерна тенденция снижения качества вовлекаемых в переработку руд, в свою очередь, для сырья со сложным составом традиционные методы извлечения полезных компонентов являются малоэффективными. Для поддержания растущего уровня производства металлов необходимо внедрение новых эффективных технологий переработки низкосортных, упорных руд и техногенных месторождений. Примером упорного сырья с высоким содержанием цианидов являются медно-золотые руды, главную ценность которых представляет золото, а медь является сопутствующим полезным компонентом. В ряде случаев медь в золотых рудах и концентратах выполняет роль не только попутного ценного компонента, но и вредной примеси, значительно осложняющей процесс извлечения золота.

Несмотря на широкое распространение пирометаллургических процессов, можно выделить ряд причин, которые в итоге привели к значительному развитию альтернативных – полностью гидрометаллургических технологий получения меди [1].

Технологические подходы к переработке медных золотых руд

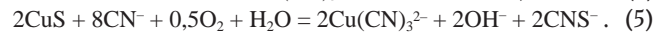
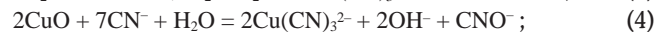
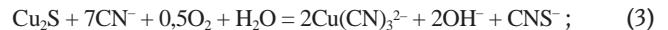
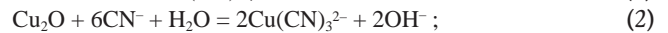
Оптимальный технологический вариант для гидрометаллургической переработки медных золотых руд и концентратов определяется исходя из наличия в исходном материале минералов и химических соединений меди, выполняющих роль химических депрессоров золота и серебра в цианистом процессе. При этом можно выделить следующие типы медно-золотых руд:

- окисленные руды, медь в сырье представлена преимущественно оксидными минералами (в виде карбонатов меди, хризоколлы);
- сульфидные руды, медь содержится в CuS , Cu_2S , CuFeS_2 , Cu_3FeS_4 и др.;
- частично окисленные «смешанные» золото-медные руды, которые помимо сульфидов меди содержат золотосодержащие гидроксиды железа и окисленные медные минералы;
- медь в исходном сырье находится в сульфатной форме, которая легко растворяется в воде.

Универсальной технологии, позволяющей рентабельно перерабатывать все перечисленные типы руд, на данный момент нет. Зачастую для каждого конкретного месторождения необходима разработка уникальной технологической схемы, что обусловлено различиями общего химического и минерального состава руд, массовой долей Au и Cu, степенью окисленности сульфидных минералов, соотношением цианируемых и нецианируемых форм золота

и меди и некоторыми другими признаками. С учетом указанных особенностей рациональные варианты технологий обогащения и металлургической переработки для разных месторождений могут существенно отличаться.

С точки зрения применимости прямого цианирования для переработки золото-медьсодержащих типов руд согласно докладу [2] каждый 1% меди в руде может привести к расходу не менее 30 кг/т NaCN, что неблагоприятно сказывается на экономике процесса. Негативное действие меди связано с чрезмерным потреблением цианида (Ур. 1-5) в процессе образования медно-цианидных комплексов, что ведёт к низкому извлечению золота в условиях недостатка цианида. Поглощение цианида может достигать 51,5 кг/т на каждый 1% меди из-за образования тиоцианата (Ур. 3 и 5) и цианата (Ур. 4) в присутствии сульфидов, например, ковеллина [2]:



D.M. Muir et al. отмечают, что содержание 0,5% меди в руде, как правило, считается максимально допустимым для реализации прямого цианидного выщелачивания золото-медных руд [3]. Также в качестве борьбы с высоким расходом цианида натрия при переработке золото-медьсодержащих руд в мировой практике используется цианирование при низких концентрациях NaCN – 0,1-0,2 г/л, в этом случае для высокого извлечения золота необходимо увеличение продолжительности процесса выщелачивания до 72–120 ч [4], что приводит к значительному снижению производительности фабрики по сравнению со стандартным цианированием либо требует увеличения объемов нового оборудования в несколько раз, что также зачастую неприемлемо. Вышеперечисленные причины подтверждают необходимость разработки альтернативных способов переработки золотых руд, богатых медью.

Зарубежная и отечественная практика позволяет выделить четыре основных технологических подхода к переработке золото-медьсодержащего сырья:

1. Применение операций гравитационного и флотационного обогащения перед цианированием.
2. Использование операций по предварительному выщелачиванию минералов химических депрессоров Au и Ag перед цианированием руды/концентрата.
3. Переработка руды/концентратов путем выщелачивания нецианидными растворителями Au, Ag и Cu.
4. Прямое цианирование руды/концентрата в специальных условиях, при которых химическая депрессия Au и Ag проявляется в меньшей степени.

Контуры рациональной технологической схемы переработки золото-медьсодержащих руд определяются на основании минералогического и фазового анализа меди и золота.

Флотация – наиболее распространенный способ переработки золото-медьсодержащих руд, при наличии крупного золота используют операцию отсадки или другие гравитационные методы обогащения. Представленные схемы (рис. 1) включают лишь основные операции, в промышленном масштабе технологии переработки значительно усложняются введением операций гравитационного обогащения, контрольных и перечистных операций флотации, применением операции доизмельчения концентратов или промпродуктов и т.д.



Рис. 1 Принципиальные схемы переработки золото-медных руд

Fig. 1 Schematic diagrams of copper-gold ore processing

Флотационное обогащение наиболее эффективно для переработки сульфидных медьсодержащих руд. Для обеспечения приемлемых показателей извлечения меди из смешанных типов руд необходимо использование сульфидизирующих реагентов (Na_2S , NaHS и др.), переводящих оксидные минералы в легкофлотируемые формы. Примером успешного применения данной технологии является австралийская фабрика Telfer [5].

По мнению большинства экспертов, флотация медных минералов с предварительной сульфидизацией применима лишь к частично окисленным рудам. Для сырья с высокой степенью окисленности этот метод в его «классическом» исполнении не обеспечивает удовлетворительных показателей извлечения меди (и связанного с ней золота) в концентраты.

В этом плане более эффективными представляются комбинированные способы обогащения окисленных медьсодержащих руд, к числу которых относятся: флотация руды после предварительного «сегрегационного» обжига и «процесс Мостовича».

Сегрегация – вариант восстановительно-хлорирующего обжига – разработан английскими компаниями «Minerals Separation Ltd» и «Lama Mining» для извлечения меди и сопутствующих ей благородных металлов из окисленных руд. Сущность процесса заключается в термической обработке измельченной руды при 680–750 °C в смеси с небольшим количеством угля и поваренной соли. Образующиеся при этом хлориды металлов в присутствии углерода и кристаллизационной влаги (входящей в состав алюмоси-

ликатной составляющей руды) восстанавливаются до металлического состояния.

Поскольку температура обжига превышает температуру плавления хлоридов, в качестве основного продукта реакций получаются гранулы металлической меди, коллектирующие в себе золото и серебро. Охлажденный огарок доизмельчают и в виде пульпы направляют на флотацию. Восстановленная медь эффективно флотируется с обычными реагентами (ксантогенаты, сосновое масло) при $\text{pH} = 8-12$. Высокая флотационная активность меди и отсутствие в огарках сегрегационного обжига «конкурирующих» минералов обеспечивают возможность получения высококачественных флотационных концентратов с содержанием меди 40–60%. Отмечено [6], что по основным технико-экономическим показателям (извлечение металла, стоимость переработки 1 т руды) вариант восстановительно-хлорирующего обжига с флотацией огарка более эффективен по сравнению со стандартным гидрометаллургическим процессом обработки окисленных медных руд.

Процесс Мостовича предполагает выщелачивание руды в растворе серной кислоты, при этом окисленная свободная медь, в том числе из хризоколлы, бирюзы и др., переходит в раствор. После в пульпу при перемешивании добавляют порошковое, губчатое железо или молотую чугунную стружку, медь осаждается железом («цементируется») в виде мелких частиц и затем флотируется. После перечистки концентратов можно получить богатые концентраты, содержащие 30–60% меди. Извлечение меди в зависимости от упорности руды и количества связанной меди может изменяться в пределах 65–95%. Расход кислоты при этом процессе зависит от содержания окисленной меди и других поглотителей кислоты. Расход железного осадителя (чугунная стружка, скрап, губчатое железо) составляет 1,5–2,5 т на тонну меди.

Для сокращения расхода кислоты и железа может быть использована схема комбинированной флотационно-гидрометаллургической переработки с включением процесса Мостовича (рис. 2). Данная схема наиболее пригодна

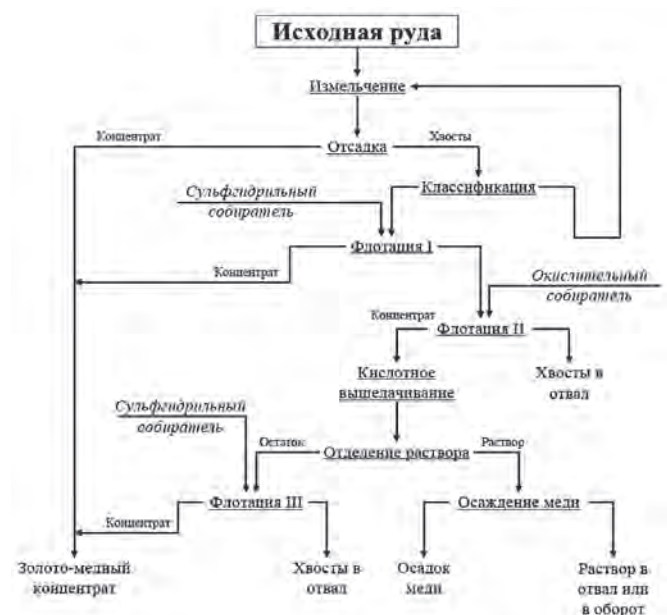


Рис. 2 Комбинированная схема переработки «смешанной» золото-медной руды по методу проф. В.Я. Мостовича

Fig. 2 Combined processing diagram for 'mixed' gold-copper ore according to Prof. V.YA. Mostovich

для руд, содержащих сульфидные и окисленные минералы меди. Схема включает три стадии флотации: первая стадия применяется для извлечения золота, золотосодержащих сульфидов и сульфидной меди; вторая – для извлечения окисленной меди, а также золота с покрытиями и заключенного в оксиды, концентрат второй стадии флотации подвергается сернокислотному выщелачиванию с целью растворения окисленных минералов меди, как сернокислотного выщелачивания поступает на третью стадию флотации для извлечения медных и золотосодержащих сульфидов, поверхность которых очищена в процессе кислотного выщелачивания. Осаждать медь из раствора можно электролизом, что позволит обезмеженный раствор направлять в оборот. Также на практике применяется извлечение меди ионообменными смолами (катионитами) непосредственно из пульпы сернокислотного выщелачивания.

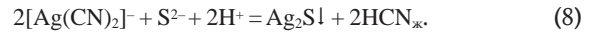
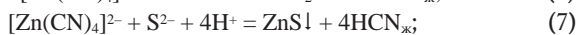
Для повышения рентабельности переработки золото-медьсодержащих руд в ряде случаев в технологическую цепочку внедряется операция регенерации цианида (например, SART-технология) или холодной десорбции меди в цикле регенерации угля золотоизвлекательных фабрик.

Технология SART

Данная технология подразумевает совокупность операций сульфидизации, подкисления, рециклинга, сгущения (Sulfidisation–Acidification–Recycling–Thickening) и обеспечивает регенерацию цианида при одновременном извлечении меди, цинка и серебра [7].

В основе технологии лежит обработка цианидного раствора, содержащего анионы CN⁻, [Ag(CN)₂]²⁻ и [Cu(CN)₃]²⁻, растворами Na₂S или NaHS при pH = 4–5, создаваемом добавками серной кислоты или барботированием в подкисленный цианидный раствор сероводорода [8].

Реакции разрушения цианидных комплексов:



Если на обработку поступает не рабочий раствор, а хвостовая пульпа, то технологии SART предшествует предварительное разделение твердой и жидкой фаз пульпы путем противоточной декантации и/или фильтрования.

Процесс осуществляется таким образом, что основная доля цианидов остается в растворе, а образовавшаяся газовая фаза улавливается в скрубберах, где протекает реакция:



Осадки сульфидов металлов после процессов фильтрации и отмывки реализуются как отдельный товарный продукт. Цианидный раствор, очищенный от примесей металлов Cu, Ag, Zn, частично возвращается на стадию цианидного выщелачивания, в то время как оставшийся раствор используется в качестве промывной воды в контуре противоточной декантации.

Технологическая цепочка SART включает разделение жидкой и твердой фаз путем сгущения (или противоточной декантации), подкисление цианидсодержащего раствора, обработку цианида в скруббере и нейтрализацию отходов (рис. 3).

Альтернативным реагентом-сульфидизатором в технологии SART может быть сероводород (H₂S) [9]. В этом случае технология регенерации дополняется биореактором, где при подаче серы и других реагентов образуется сероводород (H₂S), который направляется в SART-реактор. В этом случае капитальные затраты на организацию процесса покрываются за счет сокращения эксплуатационных расходов на закупку реагентов (сульфидных солей щелочных металлов и серной кислоты). Экономический эффект от внедрения данной технологии на ЗИФ тем выше, чем больше производительность фабрики и содержание меди в растворе. Такие модули установлены в Доминиканской Республике на ЗИФ «Pueblo Viejo» [10].

По информации, изложенной в научных статьях, затрагивающих процесс SART, на сегодняшний день построены и действуют 7 золотоизвлекательных фабрик, применяю-

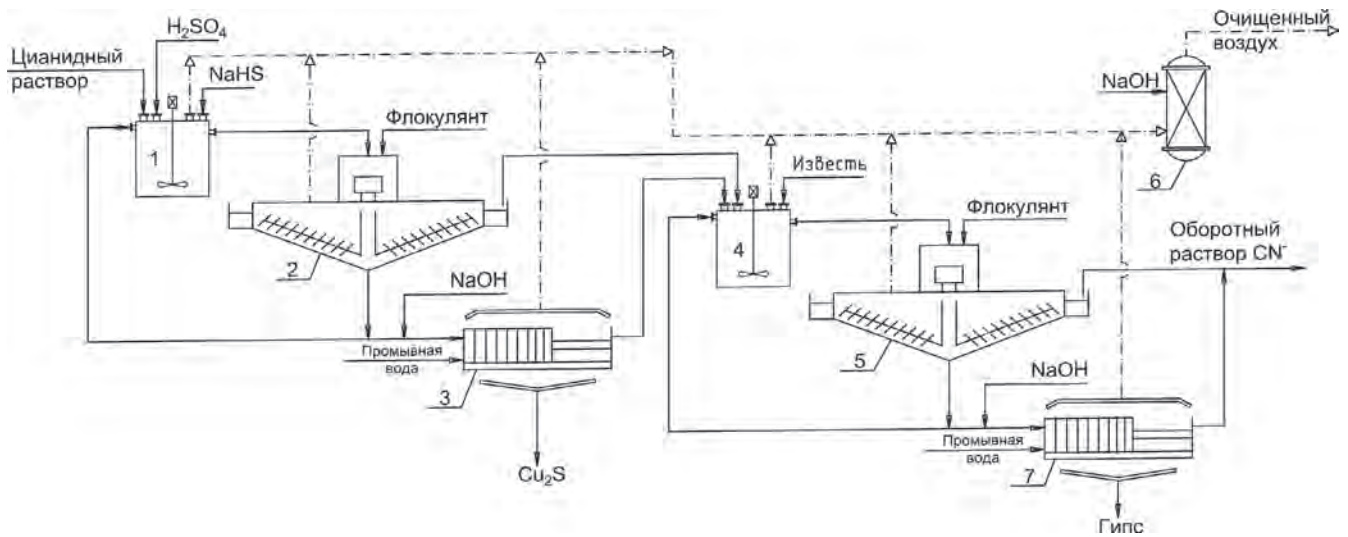


Рис. 3
Аппаратно-технологическая цепочка процесса SART:
 1 – SART-реактор; 2 – сгуститель; 3 – фильтр; 4 – нейтрализатор; 5 – сгуститель для осаждения гипса; 6 – скруббер; 7 – фильтр

Fig. 3
Hardware and process chain of the SART process:
 1 – SART reactor tank; 2 – Precipitate thickener; 3 – Filter; 4 – Neutralization tank; 5 – Gypsum thickener; 6 – Scrubber; 7 – Filter

Таблица 1
Заводы, применяющие технологию SART

Предприятие	Telfer	Yanacocha	Lluvia de Oro	Gadabek	Mastra	Maricunga	Erzincan
Страна	Австралия	Перу	Мексика	Азербайджан	Турция	Чили	Турция
Производительность, м ³ /ч	40	1200	340	140	120	750	н/д
[Cu], мг/л	1000	1000	н/д	800	1500	450	н/д
Извлечение меди, %	90	70	95	95	99	80	н/д
Год запуска	2006	2008	2008	2009	2010	2012	2014

Table 1
Plants using the SART technology

щих данную технологию, показатели этих предприятий приведены в табл. 1.

Холодная десорбция меди

Опираясь на производственный опыт предприятий, перерабатывающих золото-медьсодержащие руды, можно утверждать, что повышение уровня меди в исходной руде до уровня 0,2–0,3% не является критическим. Способы регенерации цианида, снижающие расход цианида, имеют смысл в случаях, когда содержание меди в цианируемом сырье превышает 1%. Для данных типов руд технологическим решением, повышающим рентабельность переработки руд прямым цианированием, является внедрение операции холодной десорбции меди из угля. Процесс осуществляется в обычной колонне (типа промывочной) [11].

Насыщенный уголь с большим содержанием меди помещают в колонну и при комнатной температуре через слой угля в прамоточном режиме пропускают раствор с концентрацией NaCN 10 г/л и NaOH 1,5 г/л со скоростью 1 объем исходного раствора на 1 объем угля в час. Чтобы максимально десорбировать медь с угля, необходимо израсходовать 8–10 объемов раствора на 1 объем угля [11].

По завершении процесса в колонну подают свежую воду в количестве 2 объема на 1 объем угля, которой вытесняют оставшийся цианистый раствор и отмывают уголь от остатков цианида.

При проведении холодной десорбции необходимо контролировать содержание меди в элюате и в угле до и после процесса.

Механизм десорбции меди основан на взаимодействии концентрированного цианистого раствора с сорбированными на уголь одновалентными анионами меди $[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$, данные ионы при контакте с избытком NaCN вступают в реакцию, образуя двух- и трехвалентные комплексы $[\text{Cu}(\text{CN})_3]^{2-}$, $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$, которые не удерживаются углем и вымываются в элюат.

Холодную десорбцию меди необходимо проводить в случае, если содержание меди в угле составляет более 50% рабочей емкости по золоту и серебру [11]. Данный процесс является периодическим и не оказывает существенного влияния на производственный процесс.

Заключение

Медь в золотых рудах и рудных концентратах, подвергаемых цианированию, зачастую выполняет роль не только попутного ценного компонента, но и вредной примеси, осложняющей процесс извлечения золота. Наиболее распространенным приемом переработки медно-золотых руд является предварительное обогащение с последующим селективным выщелачиванием меди и золота.

В ряде случаев не менее эффективными вариантами переработки золото-медьсодержащих руд и концентратов являются технологии, предусматривающие попутное извлечение меди и регенерацию цианида из растворов цианидного выщелачивания.

В частности, операции холодной десорбции меди и регенерация цианида позволяют:

- получить растворы, пригодные для многократного использования без снижения их растворяющей способности по отношению к благородным металлам;
- улучшить качество катодного осадка;

Помимо перечисленного, операции регенерации цианида также значительно снижают расходы на покупку свежего цианида и затраты на организацию обезвреживания стоков, минимизируют экологическое влияние предприятий на окружающую среду.

Отличительной особенностью данных процессов является то, что холодная десорбция наиболее эффективна в случае переработки сырья с низким содержанием меди и её медленным кумулятивным накоплением в растворе. Регенерация цианида наиболее рентабельна в случае переработки сырья с высоким содержанием меди.

Список литературы

1. Зайцев П.В., Плешков М.А., Шнейерсон Я.М., Наакана Т., Tiihonen J., Juopperi P. Разработка автоклавной технологии переработки медно-золотого сырья. *Золото и технологии*. 2016;(1):62–68.
2. Muir D.M. A review of the selective leaching of gold from oxidised copper–gold ores with ammonia–cyanide and new insights for plant control and operation. *Minerals Engineering*. 2011;24(6):576–582. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.08.022>
3. Muir D.M., La Brooy S.R., Fenton K. *Processing copper-gold ores with ammonia or ammonia-cyanide solutions [C]*. In: *Proceedings of the World Gold'91 Conference*. Cairns: Australasian Inst Min Metall/SME, Littleton, Co.; 1991. P. 145–150.
4. Воробьев-Десятовский Н.В. *Упорные руды: признаки, причины упорности и способы ее преодоления*. Доклад на международной конференции «Золото и технологии». – Mining World Russia, 2018. Режим доступа: https://zolteh.ru/wp-content/uploads/2018/05/Prezent_conf_ZiT_Vorobev-Desyatovskiy_Polimetall_ing.pdf
5. Лодейщиков В.В. *Золотоизвлекающие фабрики мира: Аналитический обзор*. Иркутск: Иргиредмет; 2005.
6. Muir D.M., La Brooy S.R., Cao C. Recovery of Gold from copper-bearing ores. In: Harden R.J. (ed.) *Gold Forum on Technology and Practices: World Gold 1989*. Littleton, Colorado, USA; 1989. P. 363–374.

7. Dreisinger D.B. Treatment of gold ores using cyanide or thiosulphate leach solutions. In: Hydrometallurgy: Current Practice, Short course. Perth, Australian Mineral Foundation; 1998.
8. Воробьев-Десятовский Н.В., Ермаков Д.В. Основные проблемы обезвреживания цианидсодержащих растворов и пульп золотодобывающей промышленности в России. Ч. 4. Процессы, основанные на извлечении и повторном использовании цианидов. *Цветные металлы*. 2014;(11):49–55. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/1358/article/23291/>
9. Taylor A. *Gold Technology Developments and Trends*. ALTA Metallurgical Services. Australia; 2011.
10. Williams L. *Barrick's \$3 Billion Pueblo Viejo Gold Mine Finish Copper Plan*. International Mining; 2009.
11. Барченков В.В. Как восстановить сорбционные свойства активированного угля. *Золотодобыча*. 2017;(4):8–13. Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/11622>

References

1. Zaitsev P.V., Pleshkov M.A., Shneerson Ya.M., Haakana T., Tiihonen J., Juopperi P. Development of autoclave technology for processing of copper-gold raw materials. *Zoloto i tekhnologii*. 2016;(1):62–68. (In Russ.)
2. Muir D.M. A review of the selective leaching of gold from oxidised copper–gold ores with ammonia–cyanide and new insights for plant control and operation. *Minerals Engineering*. 2011;24(6):576–582. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.08.022>
3. Muir D.M., La Brooy S.R., Fenton K. Processing copper-gold ores with ammonia or ammonia-cyanide solutions [C]. In: *Proceedings of the World Gold'91 Conference*. Cairns: Australasian Inst Min Metall/SME, Littleton, Co.; 1991, pp. 145–150.
4. Vorobiev-Desyatovskiy N.V. *Refractory ores: features, reasons of refractory properties and ways to deal with them*. Presentation at the Gold and Technology International Conference. – Mining World Russia, 2018. (In Russ.) Available at: https://zolteh.ru/wp-content/uploads/2018/05/Prezent_conf_ZiT_Vorobev-Desyatovskiy_Polimetall_ing.pdf
5. Lodeyshchikov V.V. *Gold processing plants of the world: an analytical review*. Irkutsk: Irgiredmet; 2005. (In Russ.)
6. Muir D.M., La Brooy S.R., Cao C. Recovery of Gold from copper-bearing ores. In: Harden R.J. (ed.) *Gold Forum on Technology and Practices: World Gold 1989*. Littleton, Colorado, USA; 1989. P. 363–374.
7. Dreisinger D.B. Treatment of gold ores using cyanide or thiosulphate leach solutions. In: Hydrometallurgy: Current Practice, Short course. Perth, Australian Mineral Foundation; 1998.
8. Vorobiev-Desyatovskiy N.V., Ermakov D.V. Basic problems of decontamination of cyanide-containing solutions and slurries of Russian gold mining industry. Part 4. Processes, based on extraction and reuse of cyanides. *Tsvetnye Metally*. 2014;(11):49–55. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/1359/article/23318/>
9. Taylor A. *Gold Technology Developments and Trends*. ALTA Metallurgical Services. Australia; 2011.
10. Williams L. *Barrick's \$3 Billion Pueblo Viejo Gold Mine Finish Copper Plan*. International Mining; 2009.
11. Barchenkov V.V. How to restore sorption properties of activated carbon. *Zolotodobycha*. 2017;(4):8–13. (In Russ.) Available at: <https://zolotodb.ru/article/11622>

Информация об авторах

Залесов Максим Вячеславович – ведущий инженер-технолог, АО НПО «РИВС»; аспирант, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: m_zalesov@rivs.ru

Григорьева Виктория Александровна – инженер-технолог, АО НПО «РИВС»; магистрант, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Трубилов Василий Сергеевич – директор департамента гидрометаллургии, АО НПО «РИВС», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Бодуэн Анна Ярославовна – кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой металлургии, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Information about the authors

Maksim V. Zalesov – Lead Process Engineer, RIVS Company; Post-graduate student, Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: m_zalesov@rivs.ru

Viktoriya A. Grigoreva – Process Engineer, RIVS Company; Master student, Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Vasily S. Trubilov – Director of Hydrometallurgical Department, RIVS Company, St. Petersburg, Russian Federation

Anna Ya. Boduen – Candidate of Technical Sciences (PhD in Engineering), Associate Professor, Deputy Head of the Metallurgy Department, Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 08.08.2021
Поступила после рецензирования: 13.09.2021
Принята к публикации: 14.09.2021

Article info

Received: 08.08.2021
Revised: 13.09.2021
Accepted: 14.09.2021