

---

© Ю.Н. Резник, А.Г. Секисов,  
Н.В. Зыков, Ю.И. Рубцов,  
Л.В. Шумилова, Д.В. Манзырев,  
2009

УДК 622.342.1(571.54/55)

**Ю.Н. Резник, А.Г. Секисов, Н.В. Зыков,  
Ю.И. Рубцов, Л.В. Шумилова, Д.В. Манзырев**

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ И РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ**

*Рассмотрены новые технологии извлечения золота из упорных руд и техногенного минерального сырья на основе использования инновационных процессов выщелачивания и сорбции. Определена перспектива использования этих технологий при освоении месторождений Забайкалья.*

*Ключевые слова, новые технологии извлечения золота из упорных руд, инновационные процессы выщелачивание, сорбция.*

---

**Y.N. Reznik, A.G. Sekisov, Y.I. Zikov, Y.I. Rubtsov, L.V. Shumilova, D.V. Manzirev**

### **THE INNOVATING TECHNOLOGIES IN MINING GOLD AND PLACER DEPOSIT AT ZABAKALYE**

*The article is devoted to the question of the gold recovery from the refractory ores by new effective processes in leaching and sorbtion. The implication of this technology to the Zabaikalie deposits is indicated.*

*Key words: New technology, gold recovery, leaching, sorbtion, Zabaikalie deposits.*

**З**абайкальский регион обладает значительными запасами рудного и россыпного золота, природные и техногенные источники которого характеризуются рядом минералого-геохимических особенностей. Последние определяют необходимость использования новых эффективных технологий извлечения металла.

В первую очередь такими особенностями являются комплексный характер и сложный вещественный состав руд, содержащих золото и его

преимущественно дисперсная форма нахождения.

Для россыпных месторождений, гале-эфельных отвалов, хвостов ШОУ, характерно тонкое и чешуйчатое золото, золото в «рубашке» и также его дисперсные включения в окислы железа и сульфидные шлиховые минералы. Углубленные исследования форм нахождения дисперсного золота, выделенных по типам химических связей с минералообразующими элементами и аксессуориями, позволяют считать, что промышленный потенциал природных и техногенных золото-содержащих минеральных образований может быть значительно выше оцениваемого. Развитие в последние годы новых перспективных технологических решений на основе использования процессов бактериального (био)окисления сульфидных и сульфидно-сульфосолевых минералов, содержащих дисперсное золото, окисления высокоактивными кислород и хлор содержащими реагентами руд с органическими и углистыми включениями, электрохимическая и плазмо-

химическая активация процессов выщелачивания, активированной сорбции в локальных электрических и магнитных полях позволяет рассматривать эти особенности как инициацию их творческой реализации для конкретных типов золотосодержащих объектов.

В настоящее время в ИГД СО РАН и в ЧитГУ намечены следующие исследования в области развития таких инновационных технологий для золотодобывающей отрасли региона.

1. Экспериментальная проверка технологических схем комбинированного (физико-химического и бактериального) окисления сульфидных и сульфосолевых руд и концентратов.

Первые эксперименты, проведенные нами в сотрудничестве с РГГРУ и ООО «Геохим» на пирит-арсенипиритных золотосодержащих концентратах показали перспективность этого направления.

2. Развитие исследований технологии предокисления рудных золотосодержащих пульп активными формами кислорода, включая озон и последующей двухстадийной сорбцией растворенного золота.

Технология получения активных форм кислорода и хлора фотоэлектрохимическим способом разработана с участием наших специалистов и запатентована в России и США (1).

3. Наиболее наукоемкой технологией, разработанной с участием выпускников ЧитГУ является технология двухстадийной сорбции с сокращенной реагентной обработкой (патент РФ).

Данная технология была разработана для переработки упорных руд, содержащих дисперсное золото, примеси активно реагирующие с цианидами и сорбционно активные минеральные компоненты.

В отличие от традиционной технологии «уголь в пульпе», когда сорбент

перемещается против хода движения пульпы, т.е. по градиенту содержания растворенного золота, предлагаемая технология двухстадийной сорбции (рис. 1) предполагает первоначальный ввод сорбента по ходу движения пульпы (сорбент специально подготовлен и активно участвует в процессе локального цианирования) и последующий ввод основной части сорбента против хода движения смолы.

Время цианирования существенно (до одного часа) сокращается, в первую очередь за счет того, что перед цианированием проводится насыщение пульпы активным кислородом, обеспечивающим формирование в жидкой фазе пульпы гидроксидно-пероксидных комплексов аддитивно с цианидами обеспечивающими ускоренное растворение золота.

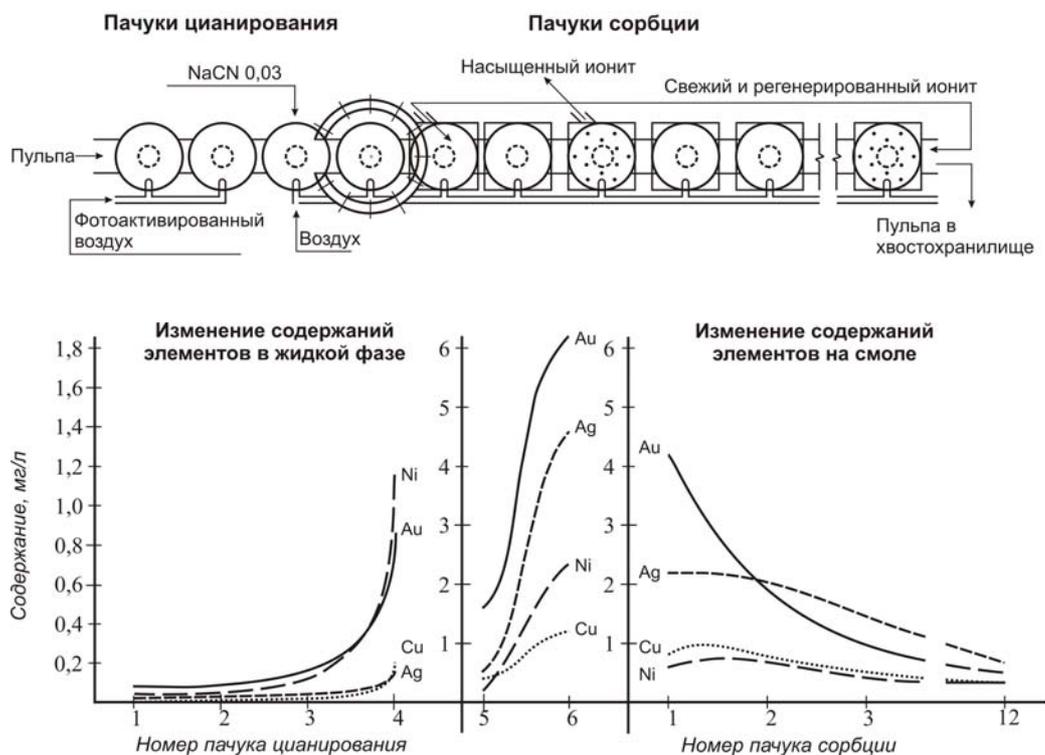
Все перечисленные мероприятия ориентированы также и на решение задач снижения активности примесей и проявления сорбционного эффекта соответствующими минералами пульп при минимальном расходе реагентов (ввод в пульпу цианидов Na, K или Ca осуществляется в концентрациях 0,0n% (весовое)).

Эксперименты, проведенные в лабораторных условиях, показали существенный прирост извлечения золота на сорбент (до 20%).

Технология двухстадийной сорбции с сокращенной реагентной обработкой (рисунок) принципиально базируется на следующих процессах.

1. Насыщение пульпы в течение часа двухатомарным кислородом воздуха, электролитическим кислородом и затравочным количеством атомарного и трехатомарного фотоэлектролитического кислорода с образованием соответствующих активных клатратов в первых пачуках цианирования.

2. Ввод в пульпу цианидов и обработанного активным раствором сор-



**Технологическая схема сорбционного выщелачивания на ГМЗ-3 и ее эколого-технологические показатели**

бента 1 при его перемещении с пульпой в течение 3 часов. Сорбент участвует в процессе цианирования как: а) локальный концентратор (в пленочной фазе) активного реагентного комплекса, т.е. интенсифицирует процесс выщелачивания золота; б) как поглотитель переходящих в жидкую фазу примесей (Fe, Cu, Ag, Zn, Ni, Co, ...); в) как сорбент для легкоцианируемой части золота (для исключения его переосаждения на минералы-сорбенты).

3. Ввод сорбента 2, который движется против хода движения пульпы, т.е. вводится в последний пачук сорбции и выводится из первого.

Сорбентом 1 преимущественно может быть ионообменная смола, сорбентом 2 - активированный уголь.

Еще одним из перспективных направлений инновационных исследований, развиваемых в ИГД СО РАН и ЧитГУ являются работы в области повышения эффективности процесса электросорбции растворенного золота и сопутствующих ему элементов из сбросных и лежалых хвостов обогащения.

В твердой фазе пульпы теряется не только дисперсное золото, не прореагировавшее с цианидами, но и растворенное, которое переосаждается на минералы, обладающие сорбционными свойствами. Особенно значительны такие потери при переработке руд, содержащих в значительных количествах глинистые минералы и/или углистое вещество, являющихся сорбентами золото-цианового комплекса.

В частности, при изучении этого эффекта на упорных золотосодержащих рудах месторождений Карлинской провинции (2) установлено, что в них присутствует активная форма углистого вещества, сорбирующего значительную часть растворенного при предварительном цианировании золота.

Глинистые минералы, особенно монтмориллонит-  $(Al_2Mg_3)(Si_4O_{10})(OH)_2 \times nH_2O$ , за счет слоистой структуры, наличия конституционной воды и гидроксильной группы, способны к активному взаимодействию с комплексными ионами с относительно большой энергией гидратации, т. е. в частности с золотоциановым комплексным анионом.

Основная идея способа электро-сорбционного извлечения золота из хвостов обогащения, разработанного нами в сотрудничестве с РГПРУ, компаниями ООО «Геохим» и «Advanced Recovery», ЗАО «Интегра» состоит в ослаблении связей золота с минералами-сорбентами и его концентрированием в пленочной воде, окружающей их частицы электрическим полем определенных параметров с последующей электродиффузией и сорбцией ионов из пленочной воды технологическим сорбентом - ионообменной смолой.

Необходимо отметить, что к настоящему времени, не удалось однозначно определить, в какой именно форме сорбируется золото углистым веществом и глинистыми минералами (1-золотоцианового комплекса, 2-нейтральных групп атомов (что в циановой среде маловероятно) 3-«простых» гидратированных катионов). Но в любом случае, можно считать, что при электровоздействии на пульпу, содержащую цианиды, в результате ряда электрохимических процессов золото будет присутство-

вать в сорбенте в форме метастабильных комплексных анионов. При этом в прикатодных зонах за счет электродиффузии золотосодержащие анионы будут концентрироваться преимущественно в пленке воды, окружающей частицу сорбента (пленочной фазе). При этом относительно основной части жидкой фазы пульпы создается концентрационный градиент для ионов золота, обеспечивающий возможность их сорбции более активным сорбентом - ионообменной смолой типа А-100 (бифункциональный анионит). В прикатодной зоне такой анионит выполняет роль ловушки смешивающихся к катоду метастабильных катионов ( $Au^{3+}$ ), периодически вновь образующих комплексные анионы  $Au(CN)_2^-$  золота.

Метастабильные катионы золота, образуются в результате диссоциации первичного цианового золотосодержащего комплекса в электрическом поле.

Эти метастабильные катионы золота смешиваются в сторону катода, периодически образуя и разрывая связь с циановыми анионами, переходя в анионную форму. В порах анионита сконцентрированы анионы цианида, смешивающиеся в сторону анода, т.е. навстречу катионам золота. При сближении этих ионов резко возрастает вероятность формирования общего относительно стабильного анионитового золотосодержащего комплекса. Такой метастабильный комплексный золотоциановый анион при контакте с пленочной фазой анионита удерживается в ней за счет роста энергии связей с гидратными оболочками и соответственно с молекулами капиллярной воды в составе ионита. После чего анион диффундирует в его гелевую фазу, образуя связи с функциональными группами. В результате этих процессов и происхо-

дит насыщение анионита золотом в электрическом поле. Эффективность системы процессов электродесорбции-электросорбции золота, как показали лабораторные и полупромышленные эксперименты, зависит от остаточной его концентрации в жидкой и твердой фазах пульпы, но главным образом от напряжения на электродах и расстояниям между анодами и катодами (т.е. от напряженности электрического поля), режима движения потока пульпы.

Электросорбционная система извлечения золота может быть использована не только для извлечения золота из хвостов, но и в основном процессе, преимущественно в головном и хвостовом пачуках сорбции.

Конструкция таких пачуков нами разработана. Кроме того она эффективна и при извлечении металлов из рабочих растворов кучного выщелачивания.

В совокупности намеченные направления научных исследований, включающих математическое и физико-химическое моделирование технологических процессов разработки и внедрения инновационных технологий извлечения золота позволят не только обеспечить непосредственное повышение эффективности производства, но и обеспечит возможность подготовки высококвалифицированных, творческих специалистов для Забайкалья (техников, бакалавров, инженеров, магистров).

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sekissov et al Method for recovery of precious metals US Patent 5492 098.*

2. *The Extractive Metallurgy of Gold .VN Reinhold, NY 1995. ISBN*

#### Коротко об авторах

*Резник Ю.Н.* – ректор, д-р техн. наук, профессор,

*Рубцов Ю.И.* – канд. техн. наук, доцент,

*Манзырев Д.В.* – канд. геол.-минерал. наук, вед. н. с.,

Читинский государственный университет, root@chitgu.ru

*Секисов А.Г.* – директор Читинского филиала ИГД СО РАН, д-р техн. наук, sekisovag@mail.ru

*Зыков Н.В.* – канд. техн. наук, доцент, директор, ФГОУ СПО Забайкальский горный колледж, zabgc@megalink.ru

*Шумилова Л.В.* – канд. техн. наук, докторант Читинского государственного университета, зам. директора по учебной работе, ФГОУ СПО Забайкальский горный колледж, zabgc@megalink.ru

