

УДК 56.011.56

Баранов А.Н., Ёлшин В.В., Колодин А.А.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТВОРЕНИЯ ЗОЛОТА В ЦИАНИСТЫХ РАСТВОРАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ КИСЛОРОДА

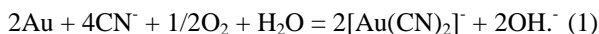
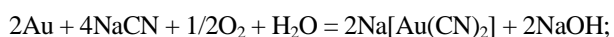
**Аннотация.** Статья посвящена одной из актуальных задач для золотодобывающей промышленности. Растворение золота в цианистых растворах протекает по электрохимическому механизму, при котором ионизация атомов золота и восстановление кислорода до перекиси водорода происходит не в одном акте, а в результате двух сопряженных реакций – анодной реакции окисления золота и катодной реакции восстановления кислорода. В связи с этим для изучения процессов растворения золота применяются электрохимические исследования путем снятия потенциодинамических поляризационных кривых с использованием современных потенциостатов, позволяющих снимать циклические поляризационные кривые при различной скорости поляризации. В литературе имеются сведения о электрохимических исследованиях растворения золота в смеси кислот серной и соляной, где показано, что при анодной поляризации золота имеется зона активного растворения золота и область формирования пассивного состояния, что приводит к снижению силы тока, а значит, и растворению золота при достижении потенциала начала пассивации, затем полной пассивации и перепассивации. В настоящее время эти сведения отсутствуют для растворения золота в цианистых растворах при различных концентрациях кислорода. Проведенные исследования позволили впервые определить зависимости изменения тока и потенциала пассивации от концентрации цианида и кислорода и построить зависимости изменения тока от концентрации цианида и кислорода и потенциала от концентрации цианида и кислорода. Полученные зависимости позволяют оптимизировать процесс растворения золота на золотоизвлекательных фабриках.

**Ключевые слова:** золото, цианирование, электрохимические исследования, потенциостат, пассивация, ток, потенциал

### Введение

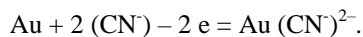
Основным методом извлечения золота из рудно-го сырья в настоящее время остаётся процесс цианирования. Сущность этого процесса заключается в выщелачивании благородных металлов с помощью разбавленных растворов цианистых солей щелочных или щелочноземельных металлов в присутствии кислорода воздуха [1].

При цианировании золото окисляется кислородом воздуха до Au (+1) и переходит в раствор в виде комплексных анионов  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ . В общем виде химизм процесса достаточно точно соответствует реакции:



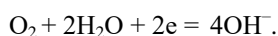
Рассмотрим эту реакцию с позиций электрохимической коррозии металлов. Электрохимическая коррозия – это взаимодействие металла с коррозионной средой (раствором электролита), при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительных компонентов среды протекают не в одном акте и скорости их зависят от электродного потенциала металла [2].

Анодная реакция растворения золота



Электродный потенциал реакции  $E = -0,5$  В, а стандартный потенциал золота равен 1,691 В.

Катодная реакция



Электродный потенциал реакции равен  $E_0 = 0,9$  В, а стандартный потенциал выделения кислорода 1,2 В.

По такому механизму протекает коррозия металлов и происходит, например, взаимодействие металлов с кислотами. Согласно современным представлениям, этот процесс является электрохимическим и подчиняется общим закономерностям электрохимической коррозии металлов. В соответствии с этим растворение золота в цианистых растворах можно рассматривать как результат действия короткозамкнутого гальванического элемента, одним из электродов которого является частица золота, а другим – какой-либо электропроводный минерал, в который эта частица вкраплена [3–5]. Электрохимические исследования широко используются для оценки скорости коррозии стали [6, 7].

Как известно, существует оптимальное соотношение концентраций цианида и кислорода, обеспечивающее максимальную скорость растворения при фиксированной концентрации одного из реагентов. Повышение концентрации другого реагента ведет к увеличению скорости процесса только до тех пор, пока соотношение концентраций не достигнет определенного значения, дальнейшее повышение концентрации не дает прироста скорости выщелачивания [8–11]. Также известно, что уменьшение концентрации одного из реагентов приводит не только к снижению скорости растворения, но и к пассивированию поверхности золота [12–14].

На рис. 1 приведена типичная анодная поляризационная кривая пассивирующегося металла [3].

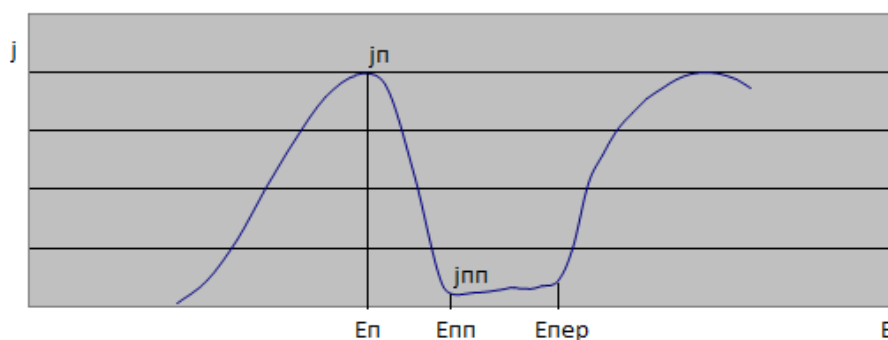


Рис. 1. Анодная поляризационная кривая для пассивирующегося металла:

$E_{п}$  – потенциал начала пассивации;  $E_{пп}$  – потенциал полной пассивации;  $E_{пер}$  – потенциал перепассивации;  $j_{п}$  – плотность тока пассивации;  $j_{пп}$  – плотность тока полной пассивации

Для золота известны поляризационные кривые растворения в смеси соляной и серной кислоты [6, 12], где потенциал пассивации  $E_{п} = 0,9$  В. Потенциал перепассивации  $E_{пер} = 1,4$  В, а максимальная плотность тока  $J_{п} = 2$  мкА/см<sup>2</sup>. Для цианистых растворов с различной концентрацией кислорода эти сведения отсутствуют.

Таким образом, необходимо провести электрохимические исследования растворения золота и определить потенциалы пассивации золота в цианистых растворах и найти зависимость растворения золота от соотношения концентрации цианид : кислород [15]. Для этого нами разработана установка и методы проведения исследований.

#### Материалы и методы исследований

Снятие потенциостатических поляризационных кривых осуществлялось с помощью потенциостат-гальваностата марки ПИ-50-PRO производства ООО «Элинс».

Для проведения эксперимента была изготовлена установка (электролизер). Она представляет собой емкость с крышкой, выполненной из органического стекла. Емкость имеет размеры 120×120×80 мм и объем внутреннего пространства 500 мл. В основании емкости сделано круглое углубление диаметром 30 мм для установки магнита. В крышке выполнено 5 отверстий: 3 отверстия диаметром 20 мм – для сравнительного, измерительного и платинового электродов; 1 отверстие диаметром 30 мм – для датчика измерения растворенного кислорода; 1 отверстие диаметром 10 мм – для отвода газа или установки датчика температуры. В боковой стенке сделаны отверстия для подвода газа и системы барботирования. Для отвода кислорода из раствора в ячейку подавался газ аргон, для нагнетания кислорода – сжатый воздух.

Для проведения опытов были подготовлены растворы с концентрацией NaCN 20, 40, 80, 140, 200, 260, 320, 380, 440 и 500 мг/л с рН = 10,0 – 10,5. Приготовление растворов проводилось путём разбавления крепкого раствора NaCN.

Рабочий золотой электрод представлял из себя пластиковую ПВХ-трубку диаметром 12 мм. На одном из концов закреплена пластина из золота 999 пробы диаметром 8,5 мм, площадью 0,567 см<sup>2</sup>. Внутри трубки проходит соединительный проводник. Он с одной стороны припаян к золотой пластине, а с другой выведен для присоединения к измерительному прибору. Перед каждой серией опытов золотая пластина тщательно шлифовалась до блеска.

#### Методика исследований

В измерительную ячейку помещалось три электрода: вспомогательный (платиновый электрод марки ЭПВ-1), сравнительный электрод (хлорсеребряный электрод ЭВП-08), рабочий золотой электрод и датчик концентрации растворенного кислорода WTW FDO 925. Золотой электрод помещался на максимально возможную глубину до вращающегося магнита мешалки. Для перевода протекания реакции в кинетическую область и минимизации влияния подвода и отвода реагентов скорость оборотов устанавливалась на 650 об/мин. При данной скорости вращения обеспечивалось равномерное перемешивание без образования завихрений и воронок.

В ячейку наливался раствор 450 мл с определенной концентрацией NaCN. Исходная концентрация кислорода в растворе составляла 7,5 мг/л. С помощью потенциостата осуществлялся съем поляризационной кривой. На потенциостате выставляли область поляризации от 100 до 1000 мВ в прямом и обратном направлении при скорости развертки 3,74 мВ/с. Время снятия поляризационной кривой составляло  $900/3,74 = 241$  с в прямом направлении и столько же времени в обратном направлении. Это позволило получить циклические поляризационные кривые. После снятия показаний в раствор подавался газ аргон для отвода кислорода из раствора до определенной концентрации. Повторно снималась поляризационная кривая. Затем концентрация кислорода снижалась путем пропускания аргона через раствор и снова снималась поляризационная кривая. Таким образом, концентрация кислорода ступенчато снижалась до сле-

дующих значений: 7,5; 5; 2; 1,3; 0,8; 0,4; 0,05 мг/л. При каждом изменении концентрации кислорода снималась поляризационная кривая в растворах с различной концентрацией цианида. По окончании опыта раствор сливался, ячейка промывалась. Золотой электрод зачищался от пленки окислов и тщательно шлифовался. Опыт повторялся для раствора со следующей концентрацией NaCN.

### Результаты исследований и их обсуждение

Таким образом, для всех подготовленных растворов с различной концентрацией были получены серии циклических потенциодинамических поляризационных кривых [16]. На рис. 2 приведены результаты типичной насыщенной хлорсеребряного электрода сравнения (НХСЭС) в растворе 250 мг/дм<sup>3</sup>. Для количественного определения растворения золота и сравнения с результатами других исследований необходимо пересчитать на плотность тока, для этого силу тока в мкА надо разделить на площадь золотого электрода 0,567 см<sup>2</sup> и тогда получим, например, максимальную плотность тока  $180/0,567 = 317,5$  мкА/см<sup>2</sup> = 3,17 А/м<sup>2</sup>. Потенциал, мВ, измеряли относительно НХСЭС, который равен 226 мВ относительно водородного электрода.

Для пересчета относительно водородного электрода необходимо прибавить 226 мВ к потенциалу относительно НХСЭС. Таким образом, максимальная плотность на рис. 3 равна току  $j = 180/0,567 = 317,5$  мкА/см<sup>2</sup>,

при потенциале пассивации относительно водородного электрода  $E_p = 452 + 226 = 678$  мВ. Потенциал полной пассивации равен  $600 + 226 = 826$  мВ. Потенциал перепассивации  $E_{pp} = 998 + 226 = 1204$  мВ.

Согласно литературным данным пассивация наступает в результате образования окисной пленки Au(OH)<sub>3</sub>. При достижении потенциала  $E_{pp}$  снималась обратная кривая «ток-потенциал» и получили циклограммы при различной концентрации кислорода. Такие циклограммы характерны и для других металлов [8]. Они свидетельствуют о том, что, при снижении потенциала не происходит депассивация окисной пленки, а при достижении 400 мВ сменяется полярность тока (электрод становится катодом и протекает реакция восстановления Au(OH)<sub>3</sub> при потенциале 275 мВ, затем катодный ток снижается до нуля и при потенциале 225 мВ полярность электрода меняется, протекает катодный ток и устанавливается потенциал 100 мВ соответствующий начальному потенциалу чистого золота, при этом сила тока снижается. Следующая поляризационная кривая снималась при изменении концентрации кислорода путем продувки аргоном без зачистки электрода. Это свидетельствует о том, что при возвращении потенциала электрода к исходному окисная пленка на электроде растворялась сама другую концентрацию кислорода путем продувки аргоном и снимали другую циклическую поляризационную кривую при скорости развертки 3,74 мВ/с.

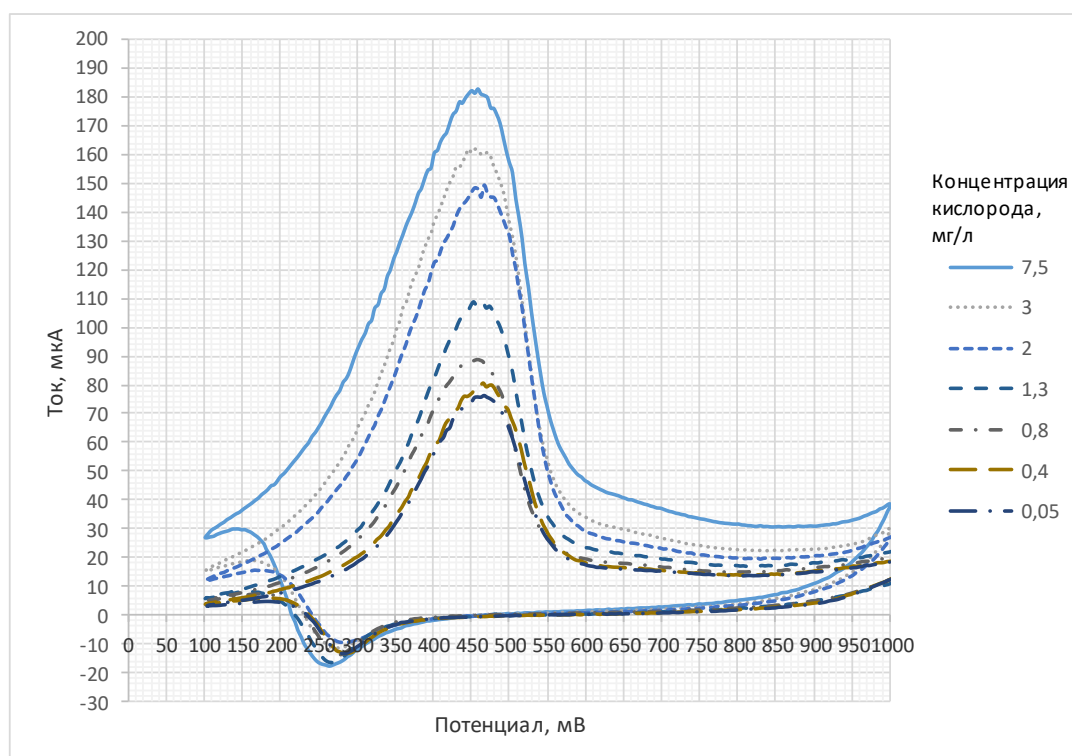


Рис. 2. Циклические потенциодинамические поляризационные кривые при скорости развертки потенциала 3,74 мВ/с, концентрации NaCN 200 мг/дм<sup>3</sup> и концентрации кислорода 0,05–7,5 мг/дм<sup>3</sup>

Известна поляризационная кривая для золота в растворе смеси соляной и серной кислот, на которой также отмечается пассивация золота [8, 12]. Для золота известны поляризационные кривые растворения в смеси соляной и серной кислоты, где потенциал пассивации  $E_{\text{п}} = 0,9$  В. Потенциал перепассивации  $E_{\text{пер}} = 1,4$  В, а максимальная плотность тока  $J_{\text{п}} = 2$  мкА/см<sup>2</sup>. Потенциалы пассивации и перепассивации практически совпадают с растворением золота в цианистых растворах, а плотность тока в кислотах на порядок ниже  $317/2 = 158$  раз. Это свидетельствует о том, что растворение золота в цианистых растворах в 158 раз выше, чем в хлоридно-серноокислых растворах. Электрохимические исследования можно использовать для определения кинетики растворения золота при определении активности используемого реагента на золото извлекательных фабриках. Обычно эти исследования проводятся гравиметрическим методом или методом вращающегося кольца, которые учитывают диффузионный контроль растворения металлов [3, 17].

Имеются сведения [18], что электрохимическими методами определяемая скорость растворения металлов значительно выше, чем гравиметрическим. Возможно, это свидетельствует о том, что при снятии поляризационных кривых при высоких скоростях развёртки 3,74 мВ/с мы определяем кинетическую скорость растворения золота, а скорость диффузии здесь

отсутствует, что следует учитывать при рассмотрении механизма растворения золота. Аналогичные результаты получены нами при исследовании ингибиторов коррозии [19]. Скорость коррозии металлов, определяемая весовым методом (г/м<sup>2</sup>ч) значительно меньше электрохимической (А/м<sup>2</sup>).

На рис. 3, 4 приведены зависимости тока и потенциала от концентрации цианида, которые получены в результате снятия поляризационных кривых при различных концентрациях цианида. Из рис. 3 можно определить, что увеличение концентрации NaCN выше 320 мг/дм<sup>3</sup> при концентрации кислорода 7,5 мг/дм<sup>3</sup> не приводит к росту тока, а следовательно, скорости растворения. Таким образом, оптимальным соотношением концентрации цианида и кислорода будет 320 и 7,5 мг/дм<sup>3</sup>. При этом снижение концентрации кислорода вплоть до 3 мг/дм<sup>3</sup> не сильно сказывается на скорости растворения.

Начиная с концентрации O<sub>2</sub> 2 мг/дм<sup>3</sup> наблюдаются существенные снижения тока, причём чем выше концентрация NaCN, тем выше снижение. Снижение доли кислорода в растворе до 2 мг/л и ниже и дальнейшее восстановление кислорода до 7,5 мг/дм<sup>3</sup> не приводит к восстановлению скорости растворения (тока), что говорит об образовании нерастворимых веществ на поверхности золота – пассивирующих пленок.

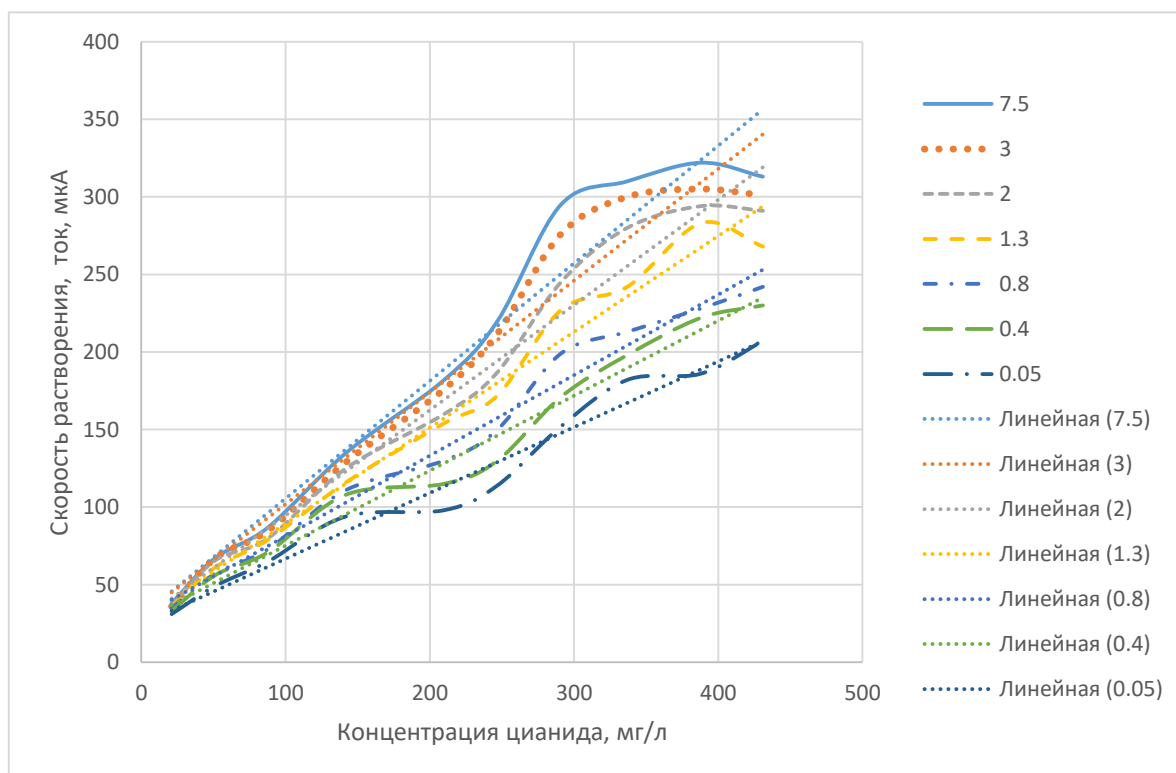


Рис. 3. График зависимости скорости растворения (тока) от концентрации NaCN при различных концентрациях кислорода (мг/ дм<sup>3</sup>) при потенциале пассивации

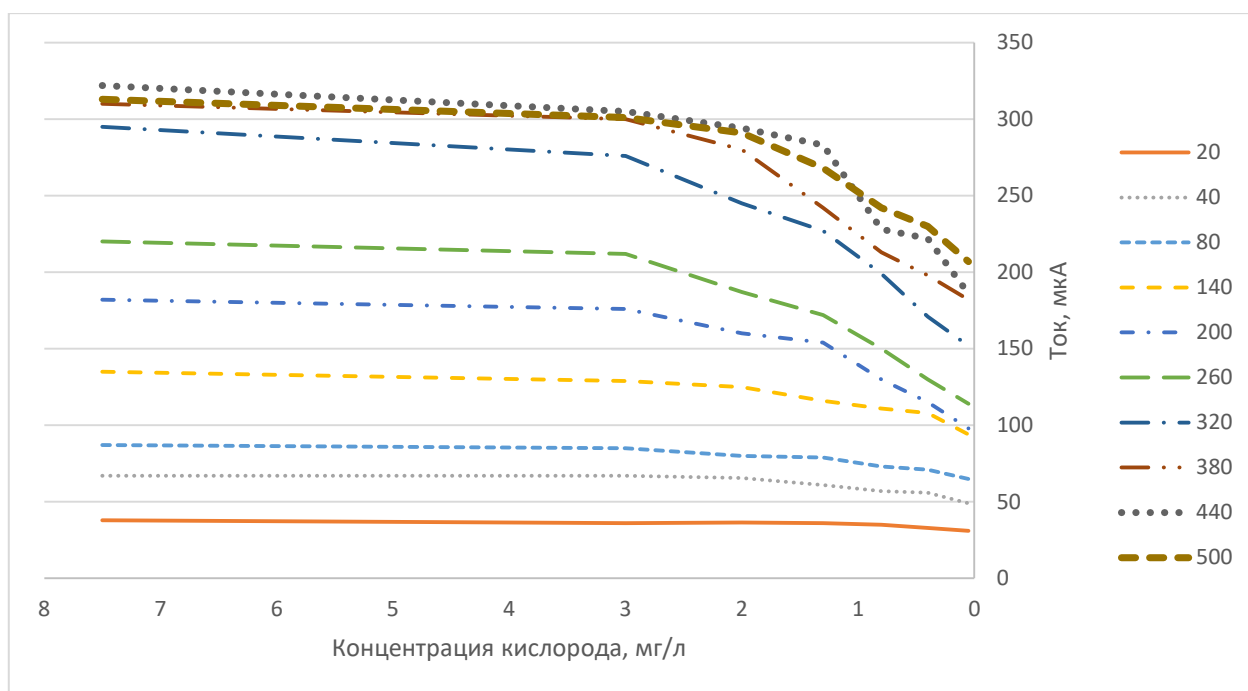


Рис. 4. График зависимости тока (при потенциале пассивации) от концентрации кислорода при различных концентрациях NaCN (мг/дм<sup>3</sup>)

Растворы с концентрацией цианида от 140 мг/л и ниже менее подвержены влиянию низкого содержания кислорода. В данном случае можно говорить о безопасной концентрации цианида в 100–120 мг/л, которая не приведет к образованию пассивирующих пленок, даже при низких концентрациях кислорода. Рассматривая потенциалы пассивации на рис. 4 видно, что он возрастает с ростом концентрации цианида, при этом сохраняется высокий ток растворения (см. рис. 3). Но при снижении концентрации кислорода потенциал пассивации снижается и при одинаковой концентрации цианида золото начинает пассивироваться. Что и сказывается на скорости растворения, её резком снижении (см. рис. 4). До концентрации цианида 320 мг/л потенциал пассивации не растет, а остается практически на одном уровне. Снижение концентрации кислорода на потенциал пассивации практически не влияет, а значит, скорость образования пассивирующих пленок не изменяется. Пассивирующая пленка Au(OH)<sub>3</sub> может растворяться в щелочных растворах при pH = 12 с образованием H<sub>2</sub>AuO<sub>2</sub><sup>-</sup>, а в кислых растворах образуется Au<sup>3+</sup>. С увеличением потенциала более 3 В возможно образование пассивирующей пленки AuO<sub>2</sub> (диаграмма Пурбе для системы золото-вода) [20]. Таким образом, проводя электрохимические исследования с образованием пассивирующих пленок, целесообразно на поверхности золота снять дифрактограммы, чтобы определить фазовый состав пленки, что позволит более глубоко понять механизм выщелачивания золота.

Электрохимические исследования широко используются при поиске ингибиторов коррозии [3]. И

поэтому их можно рекомендовать для исследований по выщелачиванию золота с учетом имеющегося опыта контроля скорости коррозии с применением ингибиторов коррозии [3, 19]. Поэтому предлагаем для этого использовать портативный коррозиметр, например «Эксперт 004» компании «ЭкониКС-Эксперт».

Прибор автоматически определяет скорость коррозии в мм/год. В настоящее время такие коррозиметры используются для экспресс-оценки эффективной защиты оборудования из стали на АНХК при дозировании ингибитора коррозии.

### Заключение

Проведены электрохимические исследования растворения золота в цианистых растворах при различной концентрации кислорода путем снятия циклических потенциодинамических кривых на потенциостате. Полученные поляризационные зависимости на рис. 3, 4 позволяют определить потенциалы пассивации и ток пассивации. Известно, что ток пассивации, пересчитанный на плотность тока согласно закону Фарадея, характеризует количество растворенного золота, это описывает кинетику выщелачивания, что позволяет контролировать и оптимизировать процесс выщелачивания на золотодобывающих предприятиях. Для этого предлагается снимать поляризационные кривые на отобранной пробе раствора, в котором идет выщелачивание золота, и определяется, сколько необходимо добавить цианида и кислорода. Снятие поляризационных кривых на золотоизвлекательных фабриках достаточно сложная задача, поэтому оперативно управлять этим процессом проблематично. Для

этого предлагается использовать портативный коррозиметр «Эксперт 004» компании «Эконикс-Эксперт».

#### Список литературы

- Каковский И.А., Поташников Ю.М. Кинетика процессов растворения. М.: Металлургия, 1975. 224 с.
- Баранов А.Н. Коррозия и защита металлов : учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. 178 с.
- Алексеев А.А., Баранов А.Н. Коррозионные исследования поведения золота в цианистых растворах // Сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых Института высоких технологий. Иркутск, 2017. С. 27-29.
- Abdelaaziz Azizi, Catalin Florin Petre, Caroline Olsen, Faïçal Larachi. Electrochemical behavior of gold cyanidation in the presence of a sulfide-rich industrial ore versus its major constitutive sulfide minerals // Hydrometallurgy, 2010, vol. 101, pp. 108–119.
- Филиппова Е.В. Применение ионообменной электросорбции для извлечения коллоидного золота // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. № 1. С. 15-19.
- Справочник по электрохимии / под ред. А.М. Сухотина. Л.: Химия, 1981. 488 с.
- Лобова П.А., Баранов А.Н. Коррозионный мониторинг как средство управления целостностью трубопроводов в нефтехимической промышленности // Системы. Методы и технологии. №1. 2014. С 103-106.
- Особенности цианистого выщелачивания золота в цикле измельчения / В.В. Елшин, А.А. Колодин, А.Е. Овсяков и др. // Металлург. 2013. №7. С. 86-90.
- Щадов И.М., Филиппова Е.В. Перспективы применения новой экологозащитной технологии при переработке золотосодержащих техногенных образований // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 12. С. 24-27.
- Филиппова Е.В. Разработка и апробация новой экологозащитной геотехнологии на золоторудном предприятии Забайкальского края // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 7. С. 172–182.
- Филиппова Е.В. Новая комплексная технология отработки техногенных отходов, позволяющая повысить экологическую безопасность // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 3 (31). С. 192-197.
- Управление процессом и прогнозирование выщелачивания сырья с применением гидроакустического излучателя / Л.С. Стрижко, Ш. Бобозода, А.О. Новаковская, Ш.К. Бобоев // Системы. Методы. Технологии. 2014. №4(24). С. 115-122.
- Дорошков В.И., Баранов А.Н. Тиосульфатное выщелачивание золота // Переработка природного и техногенного сырья: сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых Института высоких технологий. Иркутск, 2017. С. 27–29.
- Лавров А.Ю. Повышение эффективности освоения рудных месторождений на основе использования инновационных геотехнологий с фотоэлектрохимической активацией компонентов технологических систем // Вестник Забайкальского государственного университета. 2013. № 2 (92). С. 31-37.
- Sherryl Robertson, Matthew Jeffrey, Hongguang Zhang, and Elizabeth Ho. An Introductory Electrochemical Approach to Studying Hydrometallurgical Reactions // Metallurgical and materials transactions B. 2005, vol. 36B, pp. 313 – 325.
- Frantkenhal R. P., Thompson L. E.– J. Elektrochem. Soc. 1976. vol. 123, №66, p. 799.
- Исследования коррозионной стойкости легированного поверхностного слоя составом CRxCu после плазменного напыления / В.Ч. Нгуен, Н.А. Астафьева, А.Е. Балановский, А.Н. Баранов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2021. Т.17. №5 (197). С. 215-220.
- Рыбалка К.В., Бекетова А.Д., Давыдов А.Д. Оценка скорости коррозии стали AISI 1016 анализом поляризационных кривых и методом измерения омического сопротивления // Электрохимия. 2021. Т.57. №1. С. 19–24.
- Баранов А.Н. Теоретические основы коррозии и антикоррозионная защита технологического оборудования : учеб. пособие. Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. 214 с.
- Справочник химика. В 7 т. Т. 3 / под общ. ред. Б.П. Никольского. М.: Химия, 1964. 1004 с.

#### Сведения об авторах

**Баранов Анатолий Никитич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия. E-mail: a\_baraniow@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5336-6522

**Ёлшин Виктор Владимирович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и управления, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия. E-mail: dean\_zvf@istu.edu.

**Колодин Алексей Александрович** – старший преподаватель кафедры автоматизации и управления, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия. E-mail: kolodin@istu.edu. ORCID: 0000-0003-4451-4014.

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

**ELECTROCHEMICAL STUDIES OF GOLD DISSOLUTION IN CYANIDE SOLUTIONS AT VARIOUS OXYGEN CONCENTRATIONS**

**Baranov Anatoly N.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Non-ferrous Metallurgy, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia. E-mail: a\_baraniow@mail.ru.

**Elshin Viktor V.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department Automation and Control, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia. E-mail: dean\_zvf@istu.edu.

**Kolodin Alexei A.** – senior lecturer of the Department Automation and Control, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia. E-mail: kolodin@istu.edu.

**Abstract.** The article is devoted to one of the urgent tasks for the gold mining industry. The dissolution of gold in cyanide solutions proceeds by an electrochemical mechanism, in which the ionization of gold atoms and the reduction of oxygen to hydrogen peroxide occurs not in one act, but as a result of two conjugate reactions. Anodic gold oxidation reaction and cathodic oxygen reduction reaction. In this regard, electrochemical studies are used to study the processes of gold dissolution by removing potentiodynamic polarization curves using modern potentiostats that allow to remove cyclic polarization curves at different polarization rates. In the literature there is information about electrochemical studies of gold dissolution in a mixture of sulfuric and hydrochloric acids, where it is shown that during anodic polarization of gold there is a zone of active dissolution of gold and a region of formation of a passive state, which leads to a decrease in the current strength, and hence the dissolution of gold when the passivation potential is reached, then complete passivation and passivation. Currently, this information is not available for the dissolution of gold in cyanide solutions at different oxygen concentrations. The conducted studies made it possible for the first time to determine the dependences of current changes and passivation potential on the concentration of cyanide and oxygen and to construct triple diagrams of current changes on the concentration of cyanide and oxygen and potential on the concentration of cyanide and oxygen. The obtained dependences make it possible to optimize the process of gold dissolution at gold recovery factories.

**Keywords:** gold, cyanidation, electrochemical studies, potentiostat, passivation, current, potential.

---

Ссылка на статью:

Баранов А.Н., Ёлшин В.В., Колодин А.А. Электрохимические исследования растворения золота в цианистых растворах при различных концентрациях кислорода // Теория и технология металлургического производства. 2023. №1(44). С. 11-17.  
Baranov A.N., Elshin V.V., Kolodin A.A. Electrochemical studies of gold dissolution in cyanide solutions at various oxygen concentrations. *Teoria i tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 44, no. 1, pp. 11–17.