

УДК 546.593

DOI: 10.17072/2223-1838-2019-4-337-341

**В.С. Корзанов**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

### ОКИСЛЕНИЕ ЗОЛОТА БРОМАТОМ КАЛИЯ

*Опробован способ окисления золотосодержащего сырья броматом калия в растворах бромида калия, позволяющий существенно снизить образование при растворении токсичных газов и способный заменить использование смеси азотной и соляной кислот в процессе очистки благородного металла. Образование тетрабромоаурат(+3)-иона придает раствору интенсивную окраску, затрудняющую наблюдение за растворением золотосодержащего сырья. Замена раствора бромида калия раствором хлорида калия позволяет устранить это затруднение, так как обеспечивает образование менее интенсивно окрашенного тетрахлоаурат(+3)-иона. Выделение золота из получаемых растворов происходит количественно и не сопровождается образованием токсичных газообразных продуктов.*

**Ключевые слова:** бромат калия; растворение золота**V.S. Korzanov**

Perm State University, Perm, Russia

### OXIDATION OF GOLD BY POTASSIUM BROMATE

*Tested the oxidation of gold ores by potassium bromate in solutions of potassium bromide to significantly reduce the formation when dissolved toxic gases and can replace the use of a mixture of nitric and hydrochloric acids in the purification process of the precious metal. The formation of tetrabromaurate(+3) - and it gives the solution an intense color, making it difficult to observe the dissolution of gold-containing raw materials. Replacing a solution of potassium bromide with a solution of potassium chloride eliminates this difficulty, as it provides the formation of a less intensely colored tetrachloraurate (+3)-ion. Gold isolation from the obtained solutions occurs quantitatively and is not accompanied by the formation of toxic gaseous products.*

**Keywords:** potassium bromate; gold dissolution

### Введение

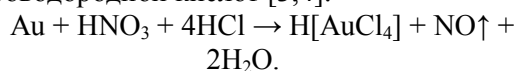
В последние десятилетия значение производства драгоценных металлов из вторичных источников неуклонно возрастает и в промышленно развитых странах (США, Японии и Германии) достигает от общего объема 30–40 %, в России – 13 %.

Остановка и ликвидация нерентабельных производств и стремительное моральное устаревание цифровой техники приводит к накоплению сотен тысяч тонн металлолома, наносящего огромный вред окружающей среде. Однако эти отходы следует рассматривать как ценный ресурс крайне необходимых металлов, способный конкурировать с природными источниками [1, 2]. Это создает предпосылки для развития в России крупномасштабной переработки металлосодержащих отходов. Таким образом, поиск методов переработки золото-содержащего сырья, существенно снижающих или исключающих образование токсичных продуктов, является актуальным и востребованным.

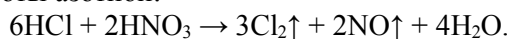
### Экспериментальная часть

#### Окисление смесью азотной и хлороводородной кислот

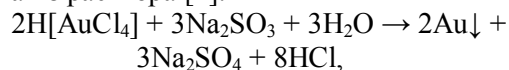
Классическим способом очистки золотосодержащего сырья от неблагородных примесей является его растворение в «царской водке» – смеси концентрированных азотной и хлороводородной кислот [3,4]:



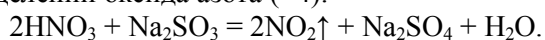
Реакция сопровождается выделением значительного объема токсичных газов – оксида азота (+2) и хлора – продукта побочного окисления хлороводородной кислоты азотной:



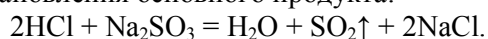
В данном процессе важно контролировать количество вводимой азотной кислоты, так как ее избыток осложняет дальнейшее выделение золота из раствора [4]:



вызывая перерасход восстановителя при выделении оксида азота (+4):



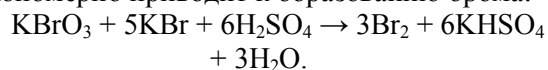
Не самым приятным побочным эффектом является и образование сернистого газа в результате реакции, протекающей после восстановления основного продукта:



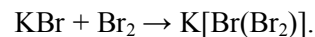
Достоинства данного способа – эффективный вывод примесей в раствор, позволяющий за два цикла добиться достаточной очистки благородного металла и простота переработки, а недостаток – выделение большого объема токсичных газов, как при растворении сырья, так и при восстановлении металла.

#### Окисление броматом калия

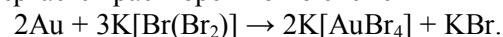
Разработан способ окисления золота броматом калия, действие которого можно представить последовательностью реакций. Введение бромата калия в раствор бромида закономерно приводит к образованию брома:



Ограниченная растворимость брома в воде может спровоцировать его переход в отдельную жидкую фазу. Для предупреждения этого нежелательного явления бром следует связать в комплекс (дибромобромат калия) дополнительным количеством бромида калия по схеме:

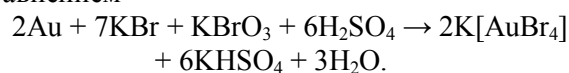


Содержащееся в перерабатываемом сырье металлическое золото предварительно отделяется от основной части более активных металлов (железа, олова, меди, серебра) путем их растворения в разбавленной азотной кислоте. Полученный золотосодержащий концентрат, имеющий остатки примесей, подвергается растворению по схеме



Ранее введенное в реакционную среду избыточное количество бромида калия выполняет полезную функцию образования устойчивого хорошо растворимого тетрабромоаурат(+3)-иона (см. табл. 1). При недостатке бромида калия образуется черный с металлическим блеском малорастворимый бромид золота (+3) (ПР ( $\text{AuBr}_3$ ) =  $4 \cdot 10^{-36}$  [5]), затрудняющий дальнейшее растворение перерабатываемого материала.

Суммарный процесс окислительного растворения золота можно представить уравнением



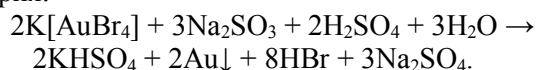
Реакция сопровождается изменением окраски раствора от характерной для брома, красно-оранжевой до темно-коричневой и протекает без выделения газов. Увеличение скорости растворения требует нагревания реакционной смеси, но при температуре выше 50°C возможно выделение паров брома.

Достоинством образующегося координационного иона золота является в его бóльшая устойчивость, по сравнению с аналогичными ионами серебра, меди и свинца (см. табл.), что способствует отделению основного компонента от менее благородных спутников. Конкуренцию может составить комплекс палладия, но дальнейшее разделение металлов легко осуществимо. Платина в рассматриваемую реакцию не вступает.

**Характеристика устойчивости бромидных комплексов элементов I В группы, свинца, палладия и платины [5]**

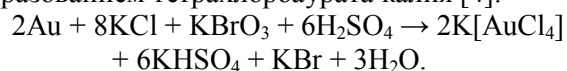
№	Комплексный ион	$K_{\text{нест.}}$	$K_{\text{уст.}}$
1	$[\text{CuBr}_2]^-$	$1,20 \cdot 10^{-6}$	$0,83 \cdot 10^6$
2	$[\text{AgBr}_2]^-$	$4,57 \cdot 10^{-8}$	$0,22 \cdot 10^8$
3	$[\text{AgBr}_3]^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^8$
4	$[\text{AgBr}_4]^{3-}$	$1,86 \cdot 10^{-9}$	$0,53 \cdot 10^9$
5	$[\text{AuBr}_2]^-$	$3,47 \cdot 10^{-13}$	$0,29 \cdot 10^{13}$
6	$[\text{AuBr}_4]^-$	$3,16 \cdot 10^{-32}$	$0,31 \cdot 10^{32}$
7	$[\text{PbBr}_3]^-$	$5,01 \cdot 10^{-4}$	$0,20 \cdot 10^4$
8	$[\text{PbBr}_4]^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^3$
9	$[\text{PdBr}_4]^{2-}$	$7,94 \cdot 10^{-14}$	$0,12 \cdot 10^{14}$
10	$[\text{PtBr}_4]^{2-}$	$3,16 \cdot 10^{-21}$	$0,31 \cdot 10^{21}$

Выделение металлического золота из полученного раствора проводится сульфитом натрия:



Преимущества разработанного способа перед классическим – небольшой расход реактивов и отсутствие токсичных газообразных продуктов как при растворении сырья, так и при восстановлении металла из раствора. Недостаток – высокая интенсивность окраски раствора, которая не позволяет контролировать полноту растворения сырья.

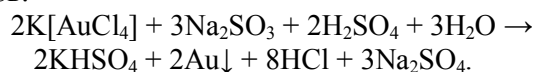
Этот недостаток легко преодолевается заменой раствора бромида калия на раствор хлорида. Процесс растворения протекает с образованием тетрахлороаурата калия [4]:



Образуется прозрачный раствор с характерной для тетрахлороаурат(+3)-иона желто-оранжевой окраской, не препятствующей наблюдению за растворением сырья. Возможно выделение небольшого количества хлора при введении окислителя.

Восстановление золота происходит количественно, с незначительным расходом

восстановителя и без выделения токсичных газов:



Проверка восстановленного металла показывает его высокую степень очистки до 99,8 % с незначительным присутствием серебра.

Несмотря на развитие способов электрохимического извлечения золота и других металлов из различных видов вторичного сырья [6, 7], полностью обойтись без химического окисления исходных сплавов и концентратов не удастся [8]. Комбинирование различных методов позволяет добиться комплексного извлечения полезных металлов, в том числе и золота в виде концентрата [9], однако окончательная очистка металла проводится через этап химической переработки.

### Выводы

В результате проведенной работы сделаны следующие выводы:

1) качество извлечения золота из вторичного сырья требует предварительного удаления сопутствующих металлов;

2) использование бромата калия в качестве окислителя снижает расход реактивов и образование токсичных газообразных продуктов при растворении сырья и восстановлении золота;

3) затруднение контроля за растворением сырья интенсивной окраской комплексного соединения золота, образующегося в среде бромида калия, устраняется заменой на раствор хлорида калия.

### Библиографический список

1. Эрисов А.Г. Общество с ограниченной ответственностью Компания «ОРИЯ». Способ переработки отходов электронной и электротехнической промышленности. RU., 2013. Пат. 2,502,813.
2. Бучихин Е.П. АО "ВНИИХТ" 2018. Способ переработки отходов электронной и электротехнической промышленности. RU., Пат. 2,644,719.
3. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В., Борбат В.Ф и др. Металлургия благородных металлов: учебник. М. Металлургия, 1987. С. 346–347

4. Брауер Г. Руководство по препаративной неорганической химии. Иностранная литература. М. 1956. С. 486–487;
  5. Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А. Константы неорганических веществ: справочник. М.: Дрофа, 2006. С.588, с. 600.
  6. Дороничева Л.А. Крыщенко К.И., Дзегиленок В.Н., Нейланд А.Б. Способ переработки вторичного золото-содержащего сырья в чистое золото (варианты). RU., 2001. Пат. 2,176,279.
  7. Тепляков А.Н. «Национальный минерально-сырьевой университет "Горный"» Способ извлечения благородных металлов из отходов радиоэлектронной промышленности. RU., 2015. Пат. 2,553,320.
  8. Сонькин В.С. Сонькин В.С., Ковалев С.В., и др. Способ переработки сплава лигатурного золота. RU., 2014. Пат. 2,516,180.
  9. Кузнецов А.П. ООО «Никелевый штейн» Способ получения концентрата драгоценных металлов из продуктов переработки руды и вторичного сырья. RU., 2018. Пат. 2,673,590.
- References**
1. Erisov, A. G. limited liability Company "company "ORIYA "(2013). *Sposb pererabotki othodov electronnoy i electrotehnicheskoy promyshlennosti* [Method of waste processing of electronic and electrical industry]. Russian Federation, Pat. 2,502,813.
  2. Buchikhin, E. p. joint Stock company "Leading research Institute of chemical technology "(JSC "VNIИТ") (2018). *Sposb pererabotki othodov electronnoy i electrotehnicheskoy promyshlennosti* [Method of waste processing of electronic and electrical industry]. Russian Federation, Pat. 2,644,719.
  3. Maslennitsky, I. N., Chugaev, L. V., Borbat, V. F. et al. (1987). *Metallurgiya blagorodnykh metallov: utchebnik* [Metallurgy of noble metals: textbook]. Metallurgy. Moscow. Russian Federation. Pp. 346-347;
  4. Brauer, G. (1956). *Rukovodstvo po preparativnoy neorganicheskoy khimii* [Handbook of preparative inorganic chemistry. Foreign literature. Moscow. USSR. Pp. 486-487;
  5. Lidin, R. A., Andreeva, L. L., Molochko, V. A. (2006). *Constanty neorganicheskikh veschestv: spravotchnik* [Constants of inorganic substances: Handbook]. Bustard, Moscow. Russian Federation. Pp. 588, pp. 600.
  6. Doronicheva L. A. Kryshchenko Konstantin Ivanovich, Dzegilenok Vadim Nikolaevich, Neyland Anatoly Borisovich (2001). *Sposb pererabotki vtorichnogo zolotosoderzhashego syrja v tchistoe zoloto (varyanty)* [A method for processing secondary gold-containing raw materials into pure gold (variants)]. Russian Federation, Pat. 2,176,279.
  7. Teplyakov A. N. Federal state budgetary educational institution of higher professional education " national mineral and raw materials University "Gorny" (2015). *Sposb izvletcheniya blagorodnykh metallov iz othodov radioelectronnoy promyshlennosti* [Method of extraction of precious metals from waste of the radioelectronic industry]. Russian Federation, Pat. 2,553,320.
  8. Sonkin V. S. Sonkin Vladimir Semenovich, Kovalev Sergey Vasilyevich, Sidin Evgeny Gennadievich, Gelman Gennady Efimovich, Muraleev Adil Rinatovich, Maganov Dmitry Dmitrievich (2014). *Sposb pererabotki splava ligaturnogo zolota* [Method of processing an alloy of gold ligature]. Russian Federation, Pat. 2,516,180.
  9. Kuznetsov A. P. limited liability Company "Nickel matte" (2018). *Sposob polutcheniya concentrata dragotcennykh metallov iz produktov pererabotky rudy I vtorichnogo syrja* [A method for obtaining precious metal concentrate from ore processing products and secondary raw materials]. Russian Federation, Pat. 2,673,590.

**Об авторах**

Корзанов Вячеслав Сергеевич,  
кандидат химических наук, доцент кафедры  
неорганической химии, химической  
технологии и техносферной безопасности  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.  
KOR494@yandex.ru

**About the authors**

Korzanov Vyacheslav Sergeevich,  
Candidate of chemical sciences, associate  
professor Department of Inorganic Chemistry,  
Chemical Technology and Technosphere  
Security  
Perm State University  
614990, Bukireva st., 15, Perm, Russia.  
KOR494@yandex.ru

**Информация для цитирования:**

*Корзанов В.С.* Окисление золота броматом калия // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, вып. 4. С. 337–341. DOI: 10.17072/2223-1838-2019-4-337-341.

Korzanov V.S. *Okislenie zolota bromatom kaliia* [Oxidation of gold by potassium bromate] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2019. Vol. 9. Issue 4. P. 337–341 (in Russ.). DOI:10.17072/2223-1838-2019-4-337-341.