

**BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1991-3494

Volume 6, Number 358 (2015), 78 – 83

УДК 669.213.634

**LEACHING OF GOLD FROM ELECTRONIC SCRAP WITH
HALIDE SOLUTION IN THE PRESENCE OF
SULFAMIC ACID**

A.O. Baikonurova, S.S. Konyratbekova, G.A. Ussoltseva, M.S. Malimbaev

Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan
a.baikonurova@yandex.kz

Key words: iodide solution, sulfamic acid, leaching, electronic scrap.

Abstract. The article shows the results of the leaching of gold from electronic scrap. As leaching agent there was used solution of iodide in the presence of elemental iodine and sulfamic acid. There is also shown the mechanism of gold leaching with iodide solutions in the presence of sulfamic acid. The optimal conditions and process parameters of the gold leaching from recycled materials are determined. Thermodynamic characteristics of the gold dissolution process in solution are shown.

The application area of results is a hydrometallurgical processing of secondary raw materials.

**ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА
ГАЛОГЕНИДНЫМИ РАСТВОРАМИ В ПРИСУТСТВИЙ
СУЛЬФАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ**

А.О. Байконурова, С.С. Коныратбекова, Г.А. Усольцева, М.С. Малимбаев

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: иодидный раствор, сульфаминовая кислота, выщелачивание, электронный лом.

Аннотация. В статье приведены результаты выщелачивания золота из электронного лома. В качестве выщелачивающего агента использовали иодидный раствор в присутствии элементного иода и сульфаминовой кислоты. Приведен механизм процесса выщелачивания золота иодидными растворами в присутствии сульфаминовой кислоты. Определены оптимальные условия и параметры процесса выщелачивания золота из вторичного сырья. Приведены термодинамические характеристики процесса растворения золота в растворах.

Областью применения результатов исследований является гидрометаллургическая переработка вторичного сырья.

Выщелачиванию подвергали электронный лом, состав которого приведен в таблице 1. В качестве компонента выщелачивающего раствора, содержащего иодид-ион, служил иодид калия, хотя не исключается использование других источников иодид-иона.

На основании имеющихся сведений по извлечению золота из золотосодержащих материалов растворами соединений иода [1] нами были выбраны пределы изменения основных параметров, оказывающих влияние на процесс. Для выщелачивания золота из лома использовали иодидный раствор с концентрацией активного иода $50 \div 200 \text{ мг/дм}^3$. Молярное соотношение иодида калия и элементного иода поддерживали равным $(3,0:1) \div (7,5:1)$. Выщелачивание проводили в колбе с навеской золотосодержащего материала при $T:Ж = 1:(1 \div 5)$, $\text{pH } 1 \div 6$; скорости перемешивания $40 \div 100 \text{ об/мин}$; продолжительности выщелачивания $30 \div 150 \text{ мин}$.

Таблица 1 – Состав электронного лома марки ELTRA

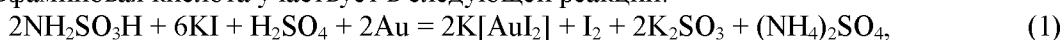
Состав электронного лома, %							
Au	Fe	Zn	Cu	Ni	Bi	Ag	Sn
0,45	0,008	35,2	63	1,154	0,78	0,0002	0,05

Выбор температуры процесса (18–22 °C) был обоснован неустойчивостью иодидных растворов при их нагревании. Контроль процесса выщелачивания проводили визуально до исчезновения золотого блеска с поверхности материала.

Из литературных данных известно, что возможно использование органических соединений в качестве растворителей золота [2, 3]. Так, использование сульфаминовой кислоты в качестве основы электролита для переработки вторичного полиметаллического сырья электрохимическим методом [4] обусловлено ее малой токсичностью и хорошей растворимостью сульфаматов благородных металлов [5, 6].

По отношению к разрабатываемой технологии частичная или полная замена элементного иода сульфаминовой кислотой, помимо перечисленных достоинств, может сократить расход дорогостоящего и дефицитного реагента, что в свою очередь приведет к снижению затрат на проведение процесса.

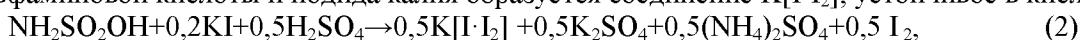
При извлечении золота из электронного лома введенная в выщелачивающий раствор сульфаминовая кислота участвует в следующей реакции:



$$\Delta G^\circ = -348,7 \text{ кДж/моль},$$

приводящей к образованию активного элементного иода, что способствует повышению скорости и полноты растворения золота.

Эту реакцию можно представить в виде двух стадий. На первой стадии в присутствии сульфаминовой кислоты и иодида калия образуется соединение $\text{K}[\text{I}\cdot\text{I}_2]$, устойчивое в кислой среде:



$$\Delta G^\circ = -247,7 \text{ кДж/моль}.$$

На второй стадии происходит взаимодействие образовавшегося соединения $\text{K}[\text{I}\cdot\text{I}_2]$ с золотом с получением устойчивого золотосодержащего комплекса:



$$\Delta G^\circ = -101,1 \text{ кДж/моль}.$$

Результаты выщелачивания золота полииодидными растворами приведены в таблице 2.

Полученные данные по анализу иода подтверждают предположение о двухступенчатом протекании выщелачивания золота сернокислым раствором, содержащим сульфаминовую кислоту и иодид калия.

Присутствие сульфаминовой кислоты способствует образованию активного иода легко вступающего в реакцию комплексообразования с золотом.

Таблица 2 – Результаты выщелачивания золота при изменении молярного соотношения сульфаминовой кислоты и иодида калия

Молярное соотношение сульфаминовой кислоты и иодида калия	Молярное соотношение иодида калия и элементного иода	Cl ₂ , г/дм ³		[Au] в растворе, мг/дм ³	EAu, %
		до выщелачивания золота	после завершения выщелачивания		
в отсутствии сульфаминовой кислоты					
-	4,5:1	-	-	164	98,0
-	3,0:1	-	-	137	82,0
-	9,0:1	-	-	80	48,0
в отсутствии элементного иода					

1,7:1	-	1,25	1,89	146	87,5
2,5:1	-	1,87	2,80	154	92,5
3,3:1	-	2,30	3,65	168	99,5
в присутствии элементного иода и сульфаминовой кислоты					
1,7:1	1,5:1	-	-	151	92,0
2,5:1	1,5:1	-	-	157	93,9
3,3:1	1,5:1	-	-	168	99,5
Примечание: Т:Ж=1:3; $\tau = 150$ мин; $n \sim 100$ об/мин; $t = 18-22$ °C; навеска лома 100 г (Au ~ 0,5 %), pH ~ 3, CKI _{hex} = 1 г/дм ³ .					

Исследования показали, что процесс достаточно проводить в течение 1,5÷2 ч.

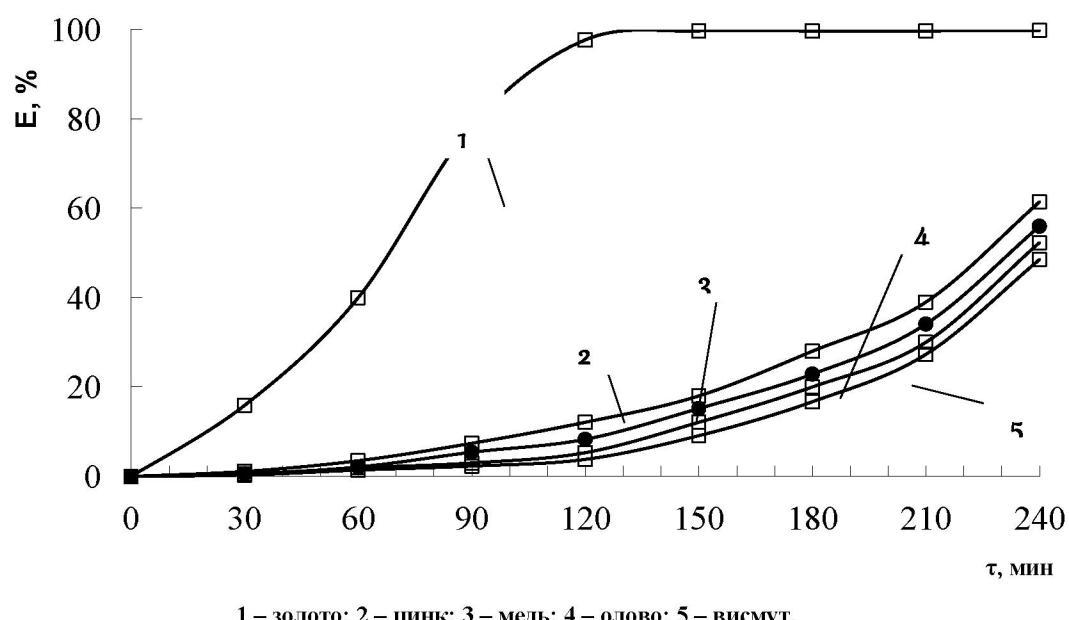


Рисунок 1 – Зависимость степени извлечения металлов от продолжительности процесса выщелачивания

При более длительном процессе выщелачивания золота после завершения его растворения с поверхности электронного лома, иод расходуется на растворение неблагородных металлов из металлической основы [7], это было подтверждено качественным анализом на наличие меди, никеля и железа.

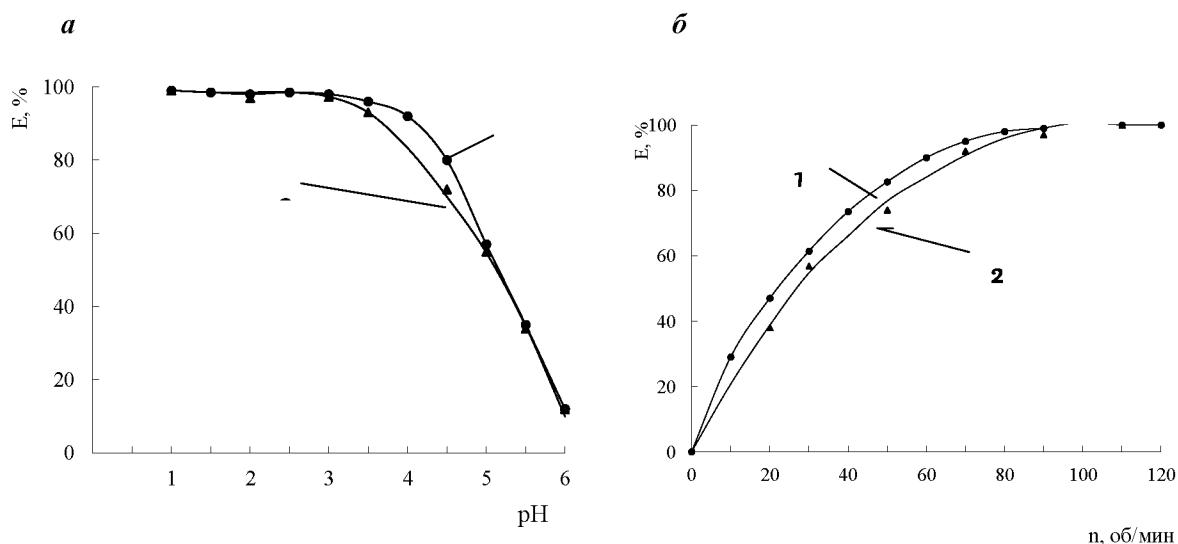
Примеси цветных металлов начинают количественно переходить в водную фазу при продолжительности процесса более 150 мин (см. таблицу 3 и рисунок 1).

Таблица 3 – Составы продуктивных растворов подиодного выщелачивания золота из электронного лома марки ELTRA

τ , мин	Au		Ni		Fe		Zn		Cu	
	$\varepsilon, \%$	$C, \text{г/дм}^3$								
30	12,7	0,19	0,80	0,03	0,30	сл	1,1	1,29	0,6	1,26

60	35,4	0,53	2,90	0,04	2,10	0,001	3,4	3,99	2,1	4,41
90	78,6	1,18	6,80	0,26	4,80	0,002	7,3	8,56	5,4	11,3
120	99,0	1,49	9,00	0,35	6,30	0,003	11,2	13,4	6,7	14,0
150	99,8	1,50	16,0	0,62	14,9	0,004	17,8	20,8	15,3	32,1
180	100	1,51	24,0	0,92	20,5	0,01	28,0	32,8	22,9	48,9

П р и м е ч а н и е: Т:Ж=1:3; $\tau = 150$ мин; $n \sim 100$ об/мин; $t = 18-22$ °C; навески лома 100 г, pH ~ 3; при анализе обнаружены следовые количества серебра, основное содержание которого в виде AgI переходит в осадок.



1 – в присутствии элементного иода и сульфаминовой кислоты;
2 – в присутствии элементного иода.

а – Зависимость степени выщелачивания золота из лома от pH раствора

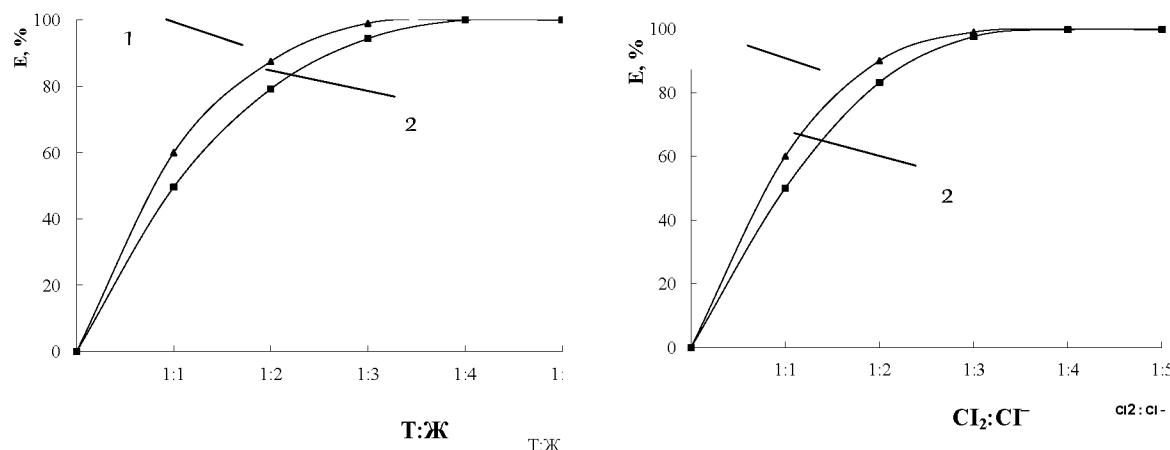
б – Зависимость степени извлечения золота в иодидный раствор от скорости перемешивания

Рисунок 2 – Результаты выщелачивания золота из электронного лома марки ELTRA в зависимости от pH среды и интенсивности перемешивания

Результаты выщелачивания золота приведены на рисунке 2. Как видно из рисунка 3, наибольшее извлечение золота из лома при поддержании молярного соотношения иодида калия и элементного иода 3,8:1 достигается в слабокислой среде (pH 1÷3), что хорошо согласуется с термодинамическими расчетами. В дальнейших исследованиях pH среды поддерживали равным 3.

Из рисунка 2 видно, что процесс протекает эффективно при скорости перемешивания ~ 100 об/мин.

Как показали исследования, максимальное извлечение золота в раствор (99 %) достигается при Т:Ж ~ 1:3 и более; увеличение молярного соотношения иодида калия к элементному иоду в исходном выщелачивающем растворе в пользу иодид-иона ($\geq 4,5:1$) позволяет достигнуть практически полного извлечения золота в продуктивный раствор ($EAu = 99,0 - 99,3$ %) (рисунки 3).



2 – в присутствии элементного иода и сульфаминовой кислоты;
2 – в присутствии элементного иода.

a – Зависимость степени извлечения золота от соотношения фаз

б – Зависимость степени извлечения золота от молярного соотношения элементного иода и иодид-иона

Рисунок 3 – Результаты выщелачивания золота в зависимости от соотношений фаз и концентраций иодид-иона и иода

Таким образом, на основании результатов исследования нами были выбраны следующие условия проведения процесса: pH ~ 3; n = 100 об/мин; t ~ 20 °C; T:Ж ~ 1:3; молярное соотношение иодида калия и элементного иода равное 4,5:1. В этих условиях извлечение золота достигает ~ 98 %.

Таким образом, на основании полученных данных установлено, что иодидные растворы в присутствии сульфаминовой кислоты являются эффективными растворителями золота. Однако метод требует использования значительных количеств дорогостоящего и дефицитного иода, играющего роль окислителя и предотвращающего диспропорционирование золотосодержащего комплекса [2] и выпадение металла в осадок. Потери иода можно восполнить путем его регенерации и извлечения из природных вод.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Коньратбекова С.С. Извлечение золота из вторичного сырья иодными растворами // Сб. науч. тр. аспирантов и магистрантов. – Алматы: КазНТУ. – 2000. – С. 31-33.
- [2] Меретуков М.А., Орлов А.М. Металлургия благородных металлов. Зарубежный опыт. – М.: Металлургия. – 1991. – 451 с.
- [3] Переработка вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы. Производственно-практическое издание / Науч. ред. Карпов Ю.А. – М.: Гиналмаззолото. – 1996. – 290 с.
- [4] Белов С.Ф., Аваева Т.И., Середина Г.Д. Перспективы использования сульфаминовой кислоты для переработки вторичного сырья, содержащего благородные и цветные металлы // Цветные металлы. – 2000. – № 5. – С. 72.
- [5] Инженерная гальванопластика в приборостроении / Под ред. Гинберга А.М., М.: Машиностроение. – 1977. – С. 512.
- [6] Плаксин И.Н. Металлургия благородных металлов. – М.: Металлургиздат. – 1958. – 338 с.
- [7] Пономорев В.Д., Пономорев Е.И. Щелочная гидрометаллургия тяжелых цветных и редких металлов. // Избранные труды т. III, Химия и технология цветных и редких металлов, Алма – ата, – 1975, – С. 226–232.

REFERENCES

- [1] Konyratbaeva S.S. Gold recovery recycled water solutions // Coll. scientific. tr. graduate students and undergraduates. – Almaty: KazNTU. – 2000. – P. 31-33. (in Russ.).

- [2] Meretukov M.A., Orlov A.M. Metallurgy of precious metals. Foreign experience. – M.: Metallurgy. – 1991. – 451 p. (in Russ.).
- [3] Recycling of secondary raw materials containing precious metals. Production and practical publication / Sci. Ed. Karpov Y.A. – M.: Ginalmazzoloto. – 1996. – 290 p. (in Russ.).
- [4] Belov S.V., Ivanova T.I., Seredina G.D. Prospects for the use of sulfamic acid for the processing of secondary raw materials containing precious and nonferrous metals // Non-ferrous metals. – 2000. – № 5. – P. 72. (in Russ.).
- [5] Engineering electroforming in instrumentation / Ed. Ginberga A.M., – M.: Mechanical engineering. – 1977. – P. 512. (in Russ.).
- [6] I.N. Plaksin. Metallurgy of precious metals. – M.: Metallurgy. – 1958. – 338 p. (in Russ.).
- [7] Ponomarev V.D., Ponomarev E.I. Alkaline hydrometallurgy of heavy non-ferrous and rare metals. // Selected Works t.III, Chemistry and Technology of nonferrous and rare metals, Alma - Ata, – 1975. – P. 226-232. (in Russ.).

СУЛЬФАМИН ҚЫШҚЫЛЫНЫң ҚАТЫСУЫМЕН ГАЛОГЕНИД ЕРІТІНДІЛЕРІНДЕ ЭЛЕКТРОНДЫ СЫНЫҚТАРДАН АЛТЫНДЫ ШАЙМАЛАУ

Ә.Ф. Байқонурова, С.С. Қоныратбекова, Г.А. Усольцева, М.С. Мәлімбаев

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: иодидті ерітінді, сульфамин қышқылы, шаймалау, электронды сынықтар.

Аннотация. Макалада электронды сынықтардан алтынды шаймалаудың нәтижелері көлтірілген. Шаймалаушы агент ретінде элементті иод пен сульфамин қышқылын құрайтын иодидті ерітіндін пайдаланылған. Сульфамин қышқылын құрайтын иодидті ерітіндімен алтынды шаймалау процесінің механизмі көрсетілген. Екіншілікті шикізаттардан алтынды шаймалау процесінің параметрлері мен оптималды жағдайы анықталған. Ерітіндіде алтынның еру процесінің термодинамикалық сипаттамасы көрсетілген.

Нәтижелерді қолдану аймагы – екіншілікті шикізаттарды гидрометаллургиялық өндеу.

Сведения об авторах:

Байконурова Алия Омирхановна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Металлургические процессы, теплотехника и технологии специальных материалов», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22
+7-7772751146, +7-7077774262
a.baikonurova@yandex.kz

Коныратбекова Салтанат Сабитовна – к.т.н., и.о. доцента, кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технологии специальных материалов», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22
+7-7773728318
salta_7504@mail.ru

Усольцева Галина Александровна – к.т.н., и.о. доцента кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технологии специальных материалов», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22
+7-7017429522
nota-vesna@yandex.kz

Малимбаев Мамбет Султанович – к.х.н., заведующий лабораторией «Институт высоких технологий»