

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА
ИЗ РУД ОЛИМПИАДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
Сообщение 1. Сорбция золота из цианидных растворов

**В.С.Климанцев, О.Б.Воронина,
О.Н.Кононова, А.Г.Холмогоров***

Исследовано сорбционное извлечение золота из цианидных технологических растворов с помощью ряда комплексобразующих сорбентов. Рассмотрено влияние концентрации золота, времени контакта с раствором и рН на сорбцию золота. Получены данные по сорбции ионов цветных металлов из золотосодержащих растворов с высоким их содержанием и десорбции цианидных комплексов золота с изучаемых сорбентов.

В последнее время проблема извлечения золота приобретает всё большую актуальность, что обусловлено вовлечением в переработку сырья с более сложным составом и меньшим содержанием ценного компонента.

На сегодняшний день единственным промышленным методом извлечения мелкодисперсного золота из руд является цианирование [1]. Этот метод детально изучен, хорошо освоен на практике, однако существует необходимость в повышении его эффективности. Одним из решений данной проблемы служит сорбционное извлечение золота непосредственно в процессе цианирования. Это обстоятельство обуславливает необходимость поиска новых, эффективных методов сорбционного концентрирования золота из полученных растворов.

Работа посвящена изучению сорбционного извлечения золота из технологических растворов после цианидного выщелачивания окисленной и первичной руд Олимпиадинского месторождения с помощью ряда комплексобразующих сорбентов.

Экспериментальная часть

Для извлечения золота были использованы следующие сорбенты: аниониты АМ-2Б, Purolite А-100, D301g, АВ-17-8, АВ-17-30П, АМП и углеродные сорбенты ЛК-7, WS-460 и WSC-470. Основные характеристики сорбентов приведены в табл. 1 и 2 [2].

Используемые в работе цианидные растворы являются технологическими и представляют собой жидкую фазу цианирования измельчённой до крупности 90% класса $-0,074$ мм окисленной руды, а в случае первичной руды – жидкую фазу цианирования арсенопиритного флотоконцентрата, прошедшего стадию биоокисления, смешанного с «хвостами» флотации (в примерном соотношении 1:10 – 1:15) и нейтрализованного известью до $pH \sim 10$. Средний состав окисленной и первичной (сульфидной) руд представлен в табл. 3 [6].

Анализ растворов на содержание золота выполнялся атомно-абсорбционным методом, а на содержание цианида и тиоцианата – титриметрическим методом с применением в качестве титрантов нитрата серебра и перманганата калия соответственно. Анализ ионитов на содержание цветных металлов выполнялся методом кислотного разложения точной навески смолы с последующим анализом полученных растворов атомно-абсорбционным методом.

Исследование сорбционного извлечения золота проводили в статических условиях. По результатам сорбционных экспериментов рассчитывали обменную ёмкость сорбентов по золоту и цветным металлам, процент извлечения и коэффициенты распределения [3]. Кроме того, были проведены кинетические эксперименты и изучено влияние pH раствора на сорбцию золота из технологических растворов.

Результаты и их обсуждение

Предварительными экспериментами было установлено, что за 24 ч равновесие в системе сорбент – цианидный раствор золота устанавливается практически полностью.

В табл. 4 и 5 представлены результаты сорбционного извлечения золота из растворов после цианидного выщелачивания окисленной и первичной руд. Из приведённых данных видно, что в растворах цианирования окисленной руды извлечение золота ионитами значительно выше по сравнению с растворами цианирования первичной руды. Исследуемые сорбенты по эффективности извлечения золота можно расположить в следующие ряды:

для окисленной руды: АМП > АВ-17-8 > D301g > АВ-17-30П > WSC-470 > WS-460 > АМ-2Б > Purolite А-100;

для первичной руды: WS-460 ~ WSC-470 > D301g > АВ-17-8 > АВ-17-30П > АМП > АМ-2Б > ЛК-7 > Purolite А-100.

* © В.С.Климанцев, О.Н.Кононова, Красноярский государственный университет; О.Б.Воронина, ЗАО «Золотодобывающая компания «Полюс»; А.Г.Холмогоров, Институт химии и химической технологии СО РАН (г. Красноярск), 2003.

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых ионитов

Марка сорбента	Основа	Физ. структура полимерной матрицы	Функциональные группы
AM-2Б	Сополимер стирола и дивинилбензола	Макропористая	Диметиламмониевые, триметиламмониевые
PuroLife A-100		Макропористая	
D301g		Макропористая	
AB-17-8		Гелевая	Триметиламмониевые
AB-17-30П		Макропористая	
АМП		Гелевая	

Таблица 2

Физико-химические свойства углеродных адсорбентов

Марка сорбента	Сырьё для синтеза	СОЕ по иону Na ⁺ , ммоль/г	Удельная поверхность, м ² /г
ЛК-7	Каменный уголь	2,1	680
WS-460	Коксовые косточки	2,6	1649
WSC-470	Коксовые косточки	2,6	1649

Из табл. 4 и 5 видно, что помимо цианидного комплекса золота в фазу смолы переходят значительные количества цианид- и тиоцианат-ионов.

Изотермы сорбции золота из растворов цианирования окисленной руды, представленные на рис.1, для всех сорбентов носят выпуклый характер, что указывает на их высокую селективность по отношению к золоту.

На рис.2 изображены кривые насыщения исследуемых сорбентов цианидным комплексом золота при сорбции его из тех же растворов.

Наиболее полное извлечение золота из этих растворов дают иониты АМП и АВ-17-8. Для этих ионитов, а также для АМ-2Б, применяемых в гидрометаллургических схемах переработки золотосодержащих руд, было исследовано влияние рН контактирующего раствора на сорбционные свойства по отношению к золоту. Из результатов, представленных на рис.3, можно сделать вывод о слабом влиянии рН среды на сорбцию золота рассматриваемыми ионитами. Небольшое уменьшение коэффициента распределения наблюдается лишь в сильнощелочной области (рН > 11), которая не характерна для технологических растворов, имеющих рН ~10.

Изотермы сорбции и кинетические кривые сорбции золота из растворов цианирования первичной руды изображены на рис.4 и 5. Из приведённых данных видно, что ёмкость сорбентов по золоту при сорбции из растворов-продуктов цианирования первичной руды весьма низкая. Этот факт можно объяснить более сложным составом последних, содержащих наряду с цианидным комплексом золота и свободным цианидом большое количество тиоцианат-ионов, способных замещать собой цианидные комплексы золота в фазе смолы, а также комплексных ионов цветных металлов (Cu, Ni, Zn, Fe, As, Sb), поглощаемых смолой и, таким образом, уменьшающих ёмкость последней.

В связи с этим было интересно изучить сорбционные свойства ионитов по отношению к цветным металлам. Для этого выбрали ионит АМ-2Б, применяемый в технологической схеме, и D301g, имеющий наилучшие свойства среди рассматриваемых ионитов. Данные, представленные в табл. 6, говорят о более высокой селективности по отношению к цианидному комплексу золота ионита АМ-2Б по сравнению с D301g.

По результатам экспериментов по десорбции золота серноокислым раствором тиомочевины, отражённым в табл. 7, видно, что все иониты практически полностью десорбируют золото в условиях эксперимента. Углеродные же сорбенты обладают столь высокой селективностью к исследуемым системам, что золото десорбируется с них не более чем на 31% и даже увеличение времени десорбции не даёт повышения процента десорбции золота [5]. Следует отметить, что перспективным для десорбции золота с углеродных сорбентов является использование щелочных растворов тиомочевины при повышенных температуре и давлении [4].

Таким образом, все названные сорбенты, за исключением ЛК-7, обладают достаточно высокой ёмкостью по золоту и хорошими кинетическими свойствами, что позволяет рекомендовать их (а углеродные сорбенты WS-460 и WSC-470 – при наличии эффективной схемы регенерации) для извлечения золота в цианидной схеме переработки золотосодержащих руд.

Таблица 3

Химический состав руд Олимпиадинского месторождения

Компоненты	Содержание в окисленной руде, %	Содержание в первичной руде, %
SiO ₂	76,5 - 70,8	41,8
Al ₂ O ₃	10,7 - 8,5	6,6
CO ₂	-	16,8
Fe ₂ O ₃	7,6 - 4,8	5,88 (Fe _{общ})
CaO	0,26 - 0,17	21,4
MgO	1,00 - 0,45	2,7
TiO ₂	2,40 - 0,43	-
K ₂ O	2,13 - 1,86	1,5
Na ₂ O	0,60 - 0,25	-
MnO	1,40 - 0,65	-
S _{общ}	-	1,2
As	0,30 - 0,10	0,28
Sb	0,30 - 0,12	0,25
WO ₃	0,30 - 0,12	0,02
Pb	0,08 - 0,05	-
Zn	0,04 - 0,01	-
Ag, г/т	-	1,3
Au, г/т	~ 10	~ 4,3

Таблица 4

Сорбционные свойства ионитов по отношению к золоту в растворах цианирования окисленной руды.
 $V_{p-ра} = 100$ мл, $m_{сорбента} = 100$ мг, $pH = 10.0$, $C_{Au}^0 = 4.38$ мг/л, $C_{CN^-} = 210$ мг/л, $C_{SCN^-} = 270$ мг/л, $t = 24$ ч

Сорбент	D	R, %	$C_{CN^-}^{равн}$, мг/л	$C_{SCN^-}^{равн}$, мг/л
AM-2Б	3171.4	76.0	80	185
Purolite A-100	2650.0	72.6	140	180
D301g	14642.9	93.7	80	160
AB-17-8	18909.1	95.0	100	120
AB-17-30П	13600.0	93.2	100	150
АМП	20900.0	95.4	80	140
ЛК7	766.1	43.4	60	205
WS-460	4688.3	82.4	40	210
WSC-470	9428.6	90.4	80	210

Таблица 5

Сорбционные свойства ионитов по отношению к золоту в растворах цианирования первичной руды.
 $V_{p-ра} = 100$ мл, $m_{сорбента} = 100$ мг, $pH = 9.7$, $C_{Au}^0 = 1.18$ мг/л, $C_{CN^-} = 80$ мг/л, $C_{SCN^-} = 950$ мг/л, $t = 24$ ч

Сорбент	D	R, %	$CCN^-_{равн}$, мг/л	$CSCN^-_{равн}$, мг/л
AM-2Б	2470.6	71.2	80	780
Purolite A-100	1950.0	66.1	80	720
D301g	3538.5	78.0	75	720
AB-17-8	3214.3	76.3	50	670
AB-17-30П	3069.0	75.4	60	690
АМП	2687.5	72.9	40	650
ЛК7	2371.4	70.3	80	730
WS-460	18666.7	94.9	80	720
WSC-470	18666.7	94.9	80	730

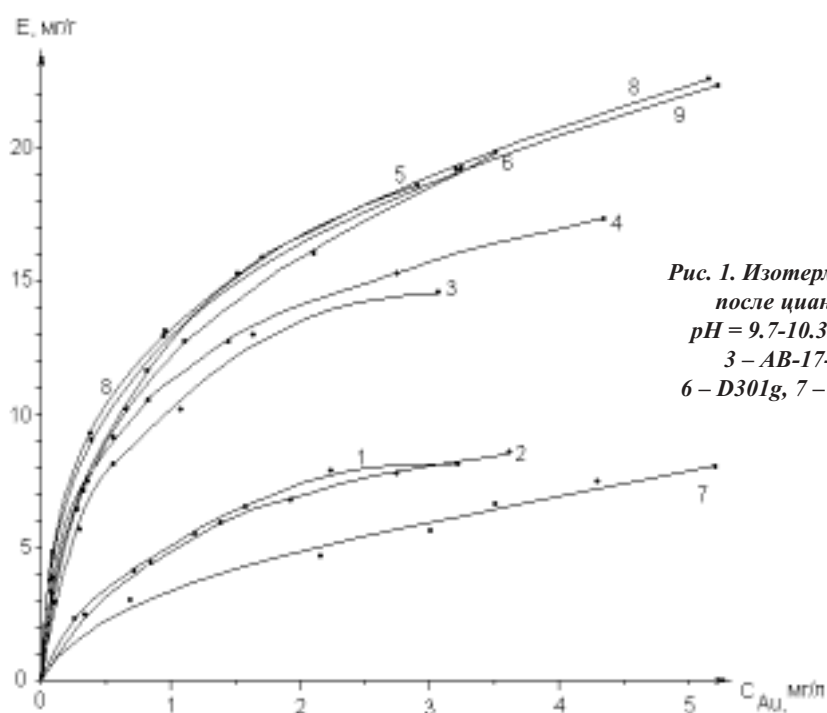


Рис. 1. Изотермы сорбции золота из растворов после цианирования окисленной руды. $pH = 9.7-10.3$. 1 – AM-2Б, 2 – Purolite A-100, 3 – AB-17-8, 4 – AB-17-30П, 5 – АМП, 6 – D301g, 7 – ЛК-7, 8 – WS-460, 9 – WSC-470

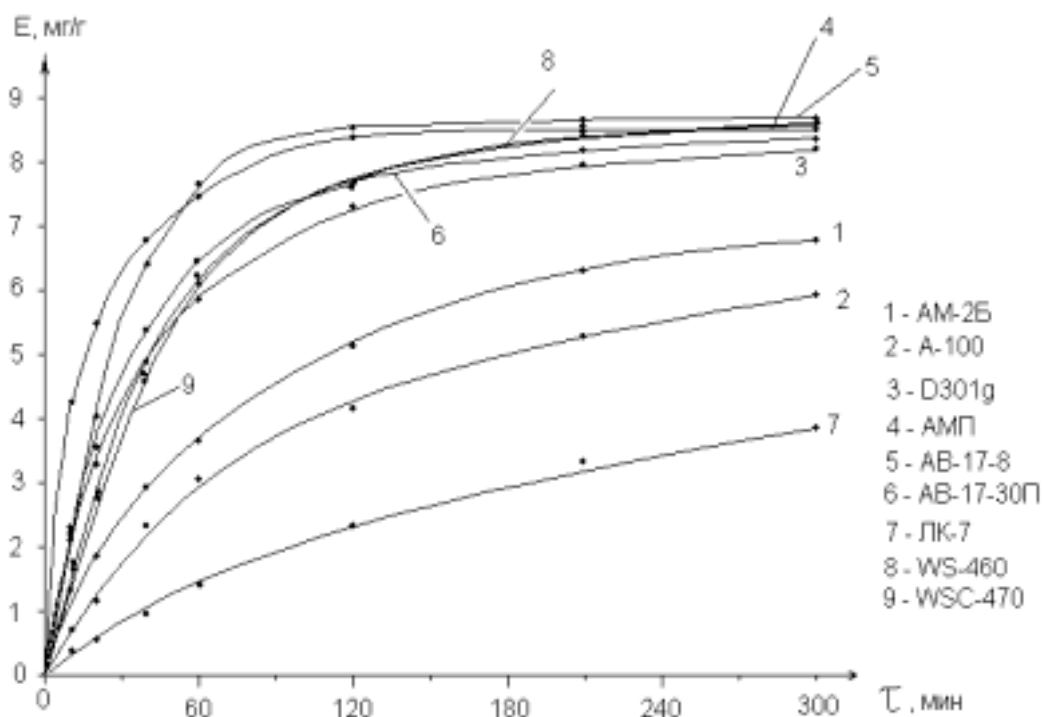


Рис. 2. Кривые насыщения сорбентов при сорбции золота из цианидных растворов выщелачивания окисленной руды. pH = 10.0. 1 – AM-2Б, 2 – Purolite A-100, 3 – D301g, 4 – АМП, 5 – АВ-17-8, 6 – АВ-17-30П, 7 – ЛК-7, 8 – WS-460, 9 – WSC-470

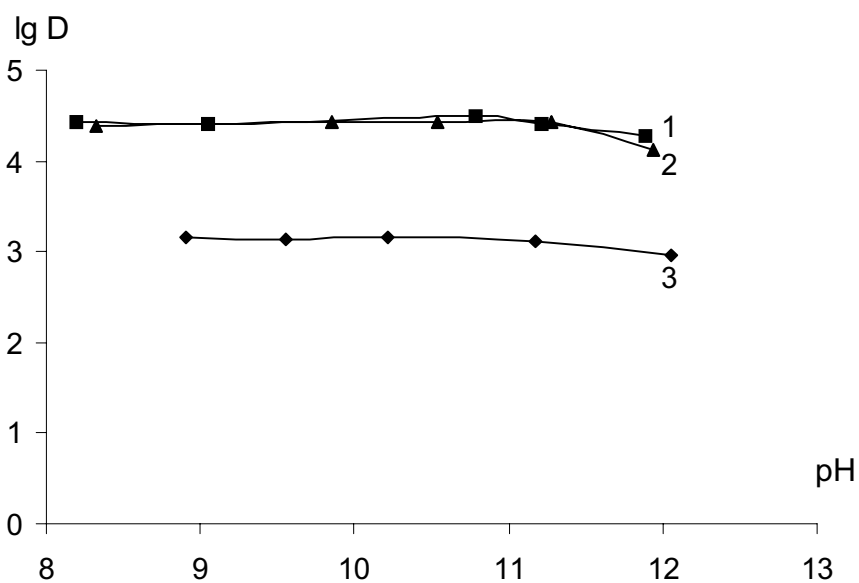


Рис. 3. Влияние pH на сорбцию золота из растворов после цианирования окисленной руды. 1 – АВ-17-8, 2 – АМП, 3 – AM-2Б

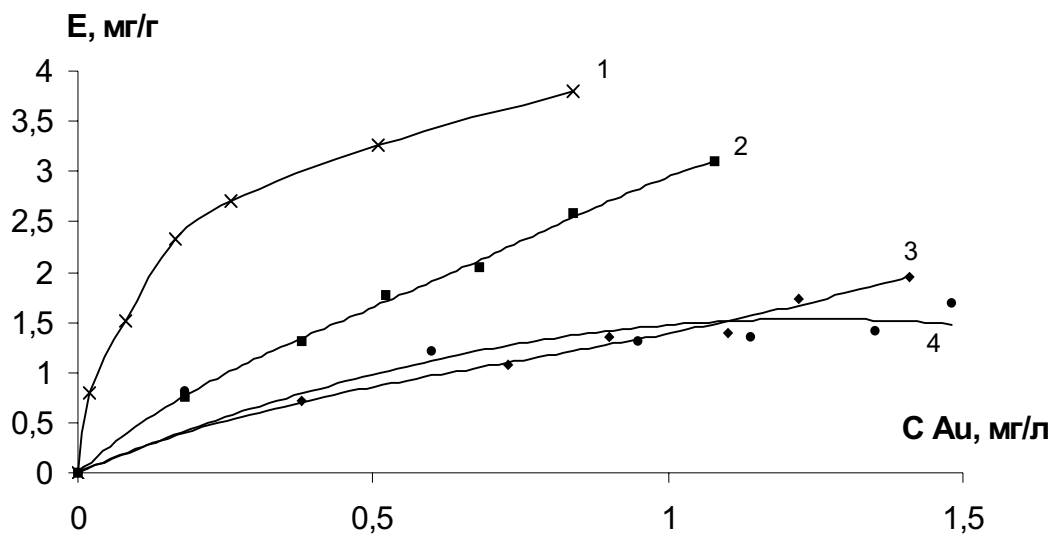


Рис. 4. Изотермы сорбции золота из растворов после цианирования первичной руды. рН = 10.5. 1 – WS-460, 2 – D301g, 3 – АМ-2Б, 4 – АВ-17-8

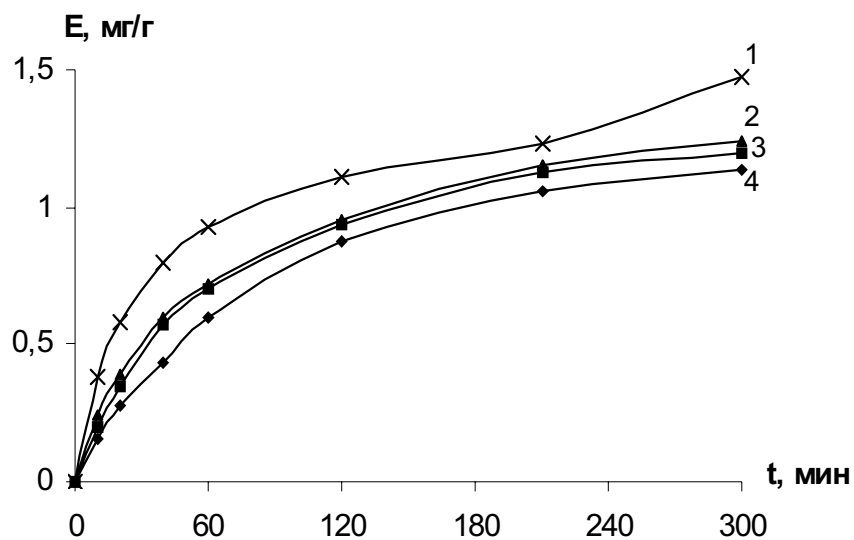


Рис. 5. Кривые насыщения сорбентов при сорбции золота из растворов после цианирования первичной руды. рН = 9.8. 1 – WS-460, 2 – АВ-17-8, 3 – D301g, 4 – АМ-2Б

Таблица 6

Сорбционные свойства ионитов АМ-2Б и D301g по отношению к цветным металлам в растворах цианирования первичной руды. $V_{p-ра} = 500$ мл, $m_{сорб} = 500$ мг, $t = 24$ ч

Компонент	Концентрация в исходном растворе, мг/л	Ёмкость сорбента, мг/г	
		АМ-2Б	D301g
Au	1.67	0.85	1.19
Cu	25.5	1.90	7.88
Ni	7.18	1.62	5.58
Zn	12.5	4.40	9.98
Fe	0.25	2.60	0.48

Таблица 7

Десорбция золота в статических условиях сернокислым раствором тиомочевины.

$V_{p-ра ТМ} = 20$ мл, $m_{сорбента} = 100$ мг, $C_{ТМ} = 80$ г/л, $C_{H_2SO_4} = 30$ г/л, $T = 60^{\circ}C$, $t = 2$ ч

Сорбент	$R_{десорб}$, %, цианидного комплекса
АМ-2Б	92,2
Purolite A-100	94,3
D301g	99,3
АВ-17-8	>99,9
АВ-17-30П	97,3
АМП	95,0
ЛК7	31,1
WS-460	15,5
WSC-470	10,1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов / А.Н.Зеликман, Г.М.Вольдман, Л.В.Беляевская. – М.: Металлургия, 1975. – 504 с.
2. Кононова О.Н. Характеристика селективных ионообменных материалов. Ч.1. / О.Н.Кононова, А.Г.Холмогоров; Краснояр. гос. ун-т. – Красноярск, 1992. – 35 с.
3. Кононова О.Н. Хроматографические методы разделения и концентрирования / О.Н.Кононова; Краснояр. гос. ун-т. – Красноярск, 1990. – 44 с.
4. Стрижко Л.С. Металлургия золота и серебра / Л.С.Стрижко. – М.: МИСиС, 2001. – 336 с.
5. Тарасенко Ю.А. Селективность восстановительной сорбции благородных металлов активными углями / Ю.А.Тарасенко, А.А. Багреев, В.В.Яценко // Журн. физ. химии. – 1993. – Т.67. - № 11. – С. 2328-2332.
6. Технологическая инструкция первой очереди Олимпиадинской ЗИФ, Красноярск, 1999. – 75с.

INVESTIGATION OF SORPTION RECOVERY OF GOLD FROM ORES OF OLYMPIADINSKOE DEPOSIT

Issue 1. Sorption of gold from cyanide solutions

V.S. Klimantsev, O.B. Voronina,
O.N. Kononova, A.G. Holmogorov

Sorption recovery of gold from cyanide technological solutions by means of complex-forming sorbents was investigated. Effects of gold concentration as well as of contacting time and pH on gold sorption was studied. The data on sorption recovery of non-ferrous metal ions from gold-containing solutions with their high concentrations were obtained. The desorption of cyanide gold complexes from the sorbents was carried out by acidic thiocarbamide solutions.