

УДК 669.21

## Гидрохимическое выщелачивание примесей из золотосодержащих цианистых осадков

© В.В. Жмурова<sup>1</sup>, А.В. Тынин<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация

Приведены результаты гидрохимического выщелачивания примесей из золотосодержащих цианистых осадков процессов цементации и электролиза. Наиболее полно удалить цинк, медь и свинец из осадков позволяет использование в качестве растворителя соляной кислоты. Применение данного способа очистки цианистых осадков от примесей увеличивает массовую долю золота в них более чем на 40 %.

*Ключевые слова:* цианистые осадки, выщелачивание примесей, повышение качества, драгоценные металлы

## Hydrochemical leaching of impurities from gold-bearing cyanide precipitates

© Victoria V. Zhmurova, Alexander V. Tynin

Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation

The article presents the results of hydrochemical leaching of the processes of cementation and electrolysis from gold-bearing cyanide deposits. The most complete removal of zinc, copper and lead from precipitation allows the use of hydrochloric acid as a solvent. The use of this method of purification of cyanide sediments from impurities increases the mass fraction of gold in them by more than 40 %.

*Keywords:* cyanide precipitation, leaching of impurities, quality improvement, precious metals

В связи с исчерпанием запасов богатого легкообогатимого золотосодержащего сырья в переработку все больше вовлекаются сложные полиметаллические и упорные руды. По оценкам некоторых экспертов доля таких руд составляет более 30 % от всех запасов. Распространенность упорного золота значительна. Наиболее крупные и известные месторождения в России – Олимпиадинское, Майское, Сухой Лог и др.; за рубежом – Barrick, Меркур, Newmont, Carlin (США), Hillgrove (Австралия), Масграес (Новая Зеландия). Проводится широкий комплекс исследований по переработке и внедрению в промышленность новых методов переработки сырья, содержащего драгоценные металлы [1]. Традиционным способом получения драгоценных металлов является гидрометаллургический, с применением в качестве растворителя NaCN. В результате крайне низкой его селективности по отношению к драгоценным металлам образуются растворы с высоким содержанием примесей, таких как медь, свинец, цинк, никель, железо, сера и др.

Известными способами выделения золота и серебра из цианистых растворов являются цементация и электролиз [2]. В результате осаждения драгоценных металлов цинковой пылью получают цементационные цианистые осадки (шламы) сложного вещественного состава. Наряду с золотом и серебром в них содержится избыток металлического цинка, металлический свинец, гидроксид и карбонат цинка, простой цианид цинка, карбонат и сульфат кальция, соединения меди, железа, мышьяка, сурьмы, селена, теллура. Кроме того, в небольших количествах в данных осадках присутствуют оксиды кальция, алюминия, кремния и др. В цементационных осадках накапливаются также элементы (никель, кобальт, молибден, вольфрам и др.), содержание которых в исходной руде весьма невелико. Осаждаясь из

<sup>1</sup> Жмурова Виктория Васильевна, старший преподаватель кафедры металлургии цветных металлов Института высоких технологий, e-mail: v\_pichugina@list.ru  
Victoria V. Zhmurova, Senior Lecturer of Metallurgy of Non-Ferrous Metals Department of High Technologies Institute, e-mail: v\_pichugina@list.ru

<sup>2</sup> Тынин Александр Владимирович, магистрант Института высоких технологий, e-mail: tynin\_a@mail.ru  
Alexander V. Tynin, a graduate student of High Technologies Institute, e-mail: tynin\_a@mail.ru

больших объемов цианистых растворов, эти элементы концентрируются в шламах. Так, даже при очень низком содержании в исходной руде никеля, кобальта, вольфрама, молибдена и др. заметные количества этих металлов могут присутствовать в шламах [3].

Основным методом переработки цементационных осадков является пирометаллургический. Применяют следующие технологические схемы переработки данного материала: плавка с предварительной кислотной обработкой и обжигом, плавка с предварительной кислотной обработкой, плавка с предварительным обжигом, плавка с предварительной хлоринацией, плавка без предварительного обогащения [4].

Химический состав цементационных осадков зависит от состава цианистых растворов и условий осаждения. Содержание металлов в продуктах, %: золота –1–30, серебра – 20–50, цинка – 20–80, свинца – 2–20, меди – 1–30. В них также присутствуют железо, сера, оксиды кремния, алюминия, кальция. Кислотная обработка используется в качестве подготовительной операции перед обжигом или плавкой и проводится с целью удаления примесей (цинк, медь и т. д.). В зависимости от вида удаляемой примеси используют для выщелачивания серную, соляную, азотную кислоты.

Цинк и его соединения хорошо растворимы в серной и соляной кислотах: выщелачивание 10–15 %-ми растворами  $H_2SO_4$  позволяет перевести в раствор 70–80 % цинка и сократить выход кека в 2–2,5 раза. Обработка осадков соляной кислотой наиболее полно удаляет железо, свинец, кальций. Цианистые осадки с высоким содержанием меди подвергают обработке азотной кислотой либо серноокислотному выщелачиванию в присутствии окислителя (селитры, перекиси марганца, хлорного железа). Содержание меди в осадках снижается до 1–4 %. Для более полного удаления примесей используют двухстадийное выщелачивание серной или соляной кислотой, а также их комбинацией. Повышенная растворимость серебра в азотнокислых растворах позволила использовать такую обработку для разделения серебра и золота. Таким образом, кислотная обработка позволяет в ряде случаев комплексно использовать ценные компоненты цианистых осадков, в 2,5 раза сокращает количество направляемого в пирометаллургический передел материала.

В результате кислотной обработки содержание цинка в осадке снижается до нескольких процентов, в то же время содержание золота возрастает до 50 % и более. Свинец при выщелачивании почти не удаляется вследствие малой растворимости сульфата свинца. Поэтому содержание свинца в выщелоченном осадке значительно выше, чем в исходном. В табл. 1 приведены результаты химического состава цементационного осадка исходного и после серноокислотной обработки [5].

**Таблица 1**

**Результаты химического цементационного осадка исходного (исх.)  
и после серноокислотного выщелачивания (кек)**

Номер пробы	Позиция	Содержание, масс. %						
		Au	Ag	Zn	Pb	Cu	S <sub>s</sub>	S <sub>so2</sub>
1	Исх.	19,3	1,88	48,17	8,74	0,47	4,19	Следы
	Кек	52	4,58	4,32	24,23	1,49	2,63	8,75
2	Исх.	17,78	1,5	21,97	26,64	0,79	5,90	0,3
	Кек	25,76	2,37	6,8	40,34	1,39	6,37	3,92

В некоторых случаях для обработки цементационного осадка вместо  $H_2SO_4$  применяют 31–32 %-й раствор HCl. При этом помимо цинка удается перевести в раствор почти весь свинец и кальций. Поэтому в осадках, обработанных HCl, содержание драгоценных металлов выше, чем в осадках после серноокислотного выщелачивания. Результаты химического анализа осадков исходных и после обработки HCl представлены в табл. 2.

Цементационные цианистые осадки, получаемые при обработке медистых золотосодержащих руд, могут содержать до 30 % металлической меди, нерастворимой в серной, соляной кислотах, поэтому кислотная обработка таких осадков не позволяет получить кондиционный продукт, годный для дальнейшей переработки. В связи с этим цианистые осадки с высоким содержанием меди после удаления цинка серной кислотой подвергают серноокислотному выщелачиванию в присутствии какого-либо окислителя: аммиачной селитры  $NH_4NO_3$ , диоксида марганца  $MnO_2$ , хлорного железа  $FeCl_3$  и т.п. [5].

Результаты химического анализа осадков исходных (исх.) и после обработки HCl (кек)

Номер пробы	Позиция	Содержание, масс. %					
		Au	Ag	Zn	Pb	Cu	Pb
1	Исх	4,07	7,09	40	0,6	8,45	8,45
	Кек	38,7	22,4	1,8	0,31	1,2	1,2
2	Исх	5,51	5,72	55	2,52	7,9	7,9
	Кек	41,8	42	0,7	9,6	0,45	0,45
3	Исх	10,45	6,7	37,5	0,37	8,6	8,6
	Кек	43,1	21	0,4	1,3	0,5	0,5

На рис. 1 представлена схема переработки цементационных цианистых осадков.

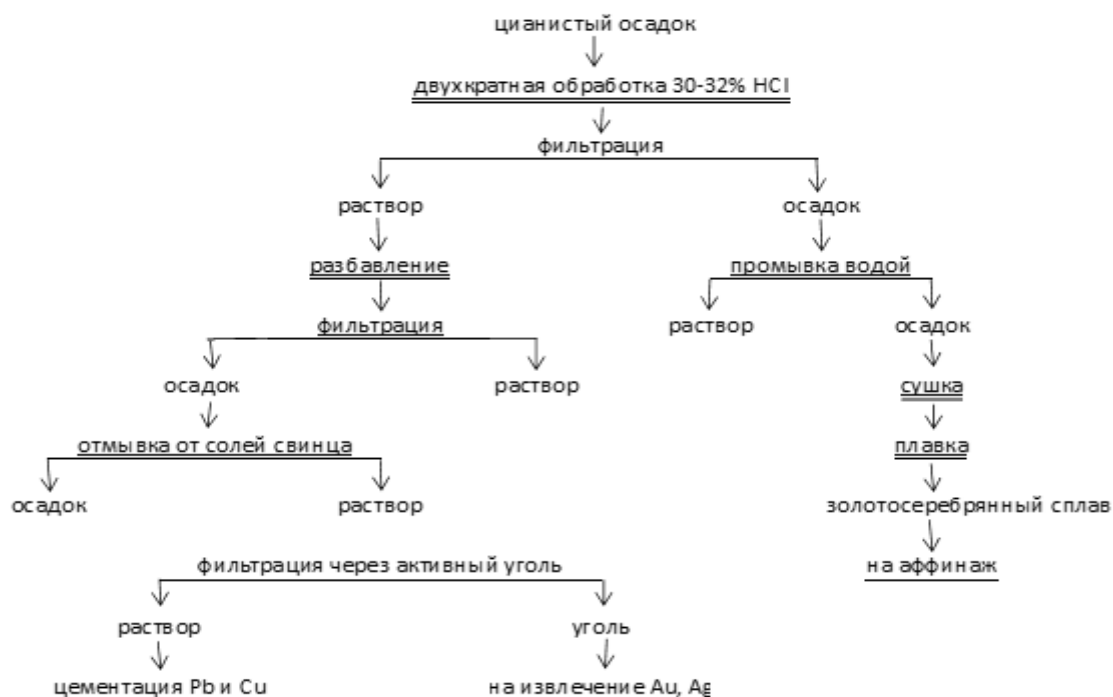


Рис. 1. Схема переработки цементационных осадков

Химический состав катодных осадков, получаемых путем десорбции и электролиза богатых золотосодержащих растворов, представлен в табл. 3. Массовая доля золота и серебра в исследуемых образцах определялась пробирным методом анализа, содержание тяжелых цветных металлов – атомно-абсорбционным методом анализа на приборе «Квант-2АТ» (Россия).

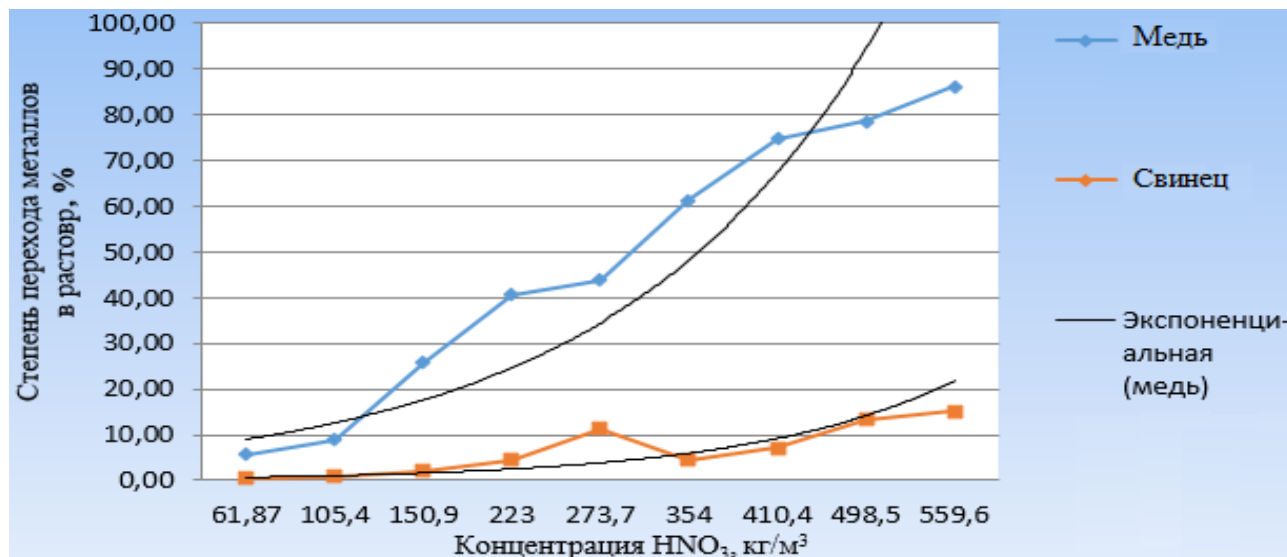
Таблица 3

Химический состав катодных осадков

Номер пробы	Массовая доля, масс. %						
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Прочие
1	16,98	17,08	32	7,65	1,58	4,22	20,49
2	16,67	17,03	38	10,90	1,69	3,07	12,64
3	14,24	11,4	43	9,90	2,63	4,46	14,37
4	14,62	11,7	43	2,41	2,64	3,5	22,13
5	22,52	22,7	25,31	1,47	1,07	4,38	22,55
6	22,44	22,3	27,08	1,39	1,09	5,22	20,48
7	19,87	17,6	30,32	11,40	1,56	0,81	18,44
8	19,87	17,8	30,12	15,35	1,58	4,48	10,8
9	14,29	16,81	38,41	8,88	2,76	1,11	17,74
10	14,98	17,42	37,26	8,58	2,81	4,31	14,64
Среднее	17,63	17,18	34,45	7,79	1,94	3,55	17,46

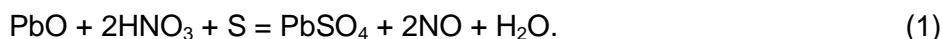
К прочим примесям (см. табл. 3) относятся в основном неметаллические элементы, образующие различные соединения ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ , сульфиды и др.).

Наиболее полное и быстрое действие на растворение металлов-примесей катодных осадков оказывает азотная кислота, которая переводит в раствор соединения меди и свинца. Результаты выщелачивания примесей катодных осадков при использовании в качестве растворителя азотной кислоты представлены на рис. 2.

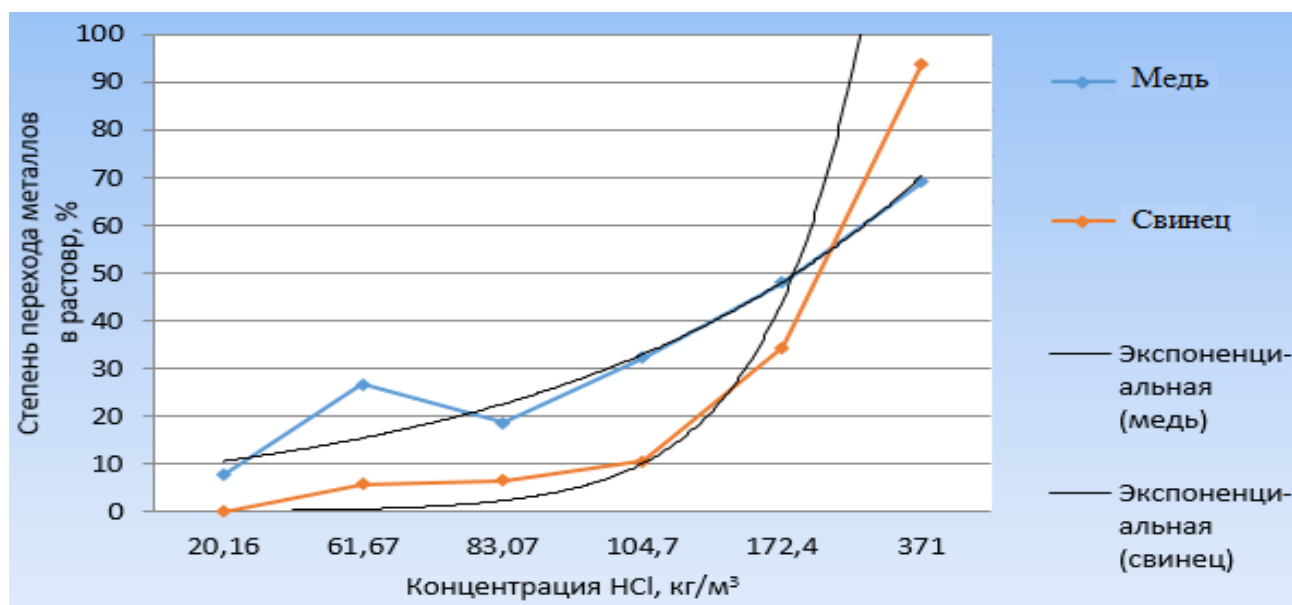


**Рис. 2. Зависимость степени перехода металлов-примесей в раствор от концентрации азотной кислоты**

Как видно из рис. 2, при использовании  $\text{HNO}_3$  в качестве реагента в раствор перешло 86 % меди из катодных осадков. Степень перехода свинца в раствор не превысила 15 %; это объясняется тем, что в результате взаимодействия свинца с  $\text{HNO}_3$  и серой не образуется растворимый  $\text{PbNO}_3$ , а образуется малорастворимый  $\text{PbSO}_4$ , что приводит к пассивации поверхности свинецсодержащих частиц:



Соляная кислота также является сильным растворителем и широко используется в гидрометаллургии. Результаты выщелачивания катодного осадка при использовании в качестве растворителя соляной кислоты представлены на рис. 3.



**Рис. 3. Зависимость степени перехода металлов-примесей в раствор от концентрации соляной кислоты**

При выщелачивании HCl в раствор переходит более 90 % меди. Степень перехода свинца в раствор выше 93 % объясняется свойством PbCl<sub>2</sub>, образующегося при взаимодействии свинца и HCl, растворяться в водных растворах хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов с образованием, например, Na<sub>2</sub>PbCl<sub>4</sub> [6]. Это связано с тем, что при использовании сильно концентрированной HCl щелочные и щелочноземельные металлы (кальций, натрий, калий, магний), находящиеся в катодных осадках, образуют хлориды, которые и вступают во взаимодействие с образовавшимся PbCl<sub>2</sub> по реакции (2):



Таким образом, гидрохимическое выщелачивание примесей из золотосодержащих цианистых осадков позволяет эффективно удалить медь, цинк, свинец. Использование различных минеральных кислот и их комбинаций позволяет увеличить содержание золота в осадках более чем на 40 %.

### Библиографический список

1. Бодуэн, А.Я., Фокина С.Б., Петров Г.В., Серебряков М.А. Современные гидрометаллургические технологии переработки упорного золотосодержащего сырья // Современные проблемы науки и образования 2014. № 6 [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15619> (18.02.2019).
2. Леонов С.Б., Минеев Г.Г., Жучков И.А. Гидрометаллургия. Ч. 1. Рудоподготовка и выщелачивание: учебник. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1998. 703 с.
3. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов: учебник. В 2 кн. М.: МИСИС, Руда и металлы, 2005. 824 с.
4. Баликов С.В., Дементьев В.Е. Плавка золотосодержащих концентратов. Иркутск: ОАО Иргиредмет, 2002. 323 с.
5. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В., Борбат В.Ф. Металлургия благородных металлов: учебник для вузов / под ред. Л.В. Чугаева. М.: Металлургия, 1987. 432 с.
6. Лоскутов Ф.М. Металлургия свинца: учеб. пособие. М.: Металлургия, 1965. 528 с.