

УДК 662.7:622.342.1

**Е.В. Куликов**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ОКИСЛЕННЫХ РУД СЛОЖНОГО ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА**

Представлены результаты технологических исследований по извлечению золота из окисленной руды сложного вещественного состава. На основании изучения вещественного состава и технологических свойств руды для её переработки рекомендуется сорбционная цианистая технология, включающая предварительную обработку 10-ти процентным раствором NaOH при температуре 80—85 °С, в течение 2 часов при тонине помола 95—98 % кл. –0,044 мм и сорбционное цианирование кека обработки, обеспечивающая извлечение золота 89,6 % и серебра 78,9 %.

Ключевые слова: Золотосодержащая руда, выщелачивание, извлечение.

**К** наиболее труднообогатимым золотосодержащим рудам относятся окисленные золоторудные месторождения, в которых золото ассоциируется с образующимися продуктами окисления золотоносными сульфидами, в частности в зонах окисления месторождений мышьяково-арсенопиритных руд. При этом значительная доля золота заключена в скородите.

Характеристика руды:

По данным пробирного анализа содержание золота в технологической

пробе составило 24,9 г/т, серебра 184 г/т.

Из приведенных данных видно, что основными составляющими руды являются оксиды кремния (59,78 %) и железа (15,7 %). Суммарное содержание цветных металлов в руде низкое (менее 0,5 %), Содержание серы составляет 0,49 %, в том числе сульфидной — 0,26 %.

Из вредных компонентов в руде содержится мышьяк (8,3 %). По результатам фазового анализа он на 93,2 % представлен в окисленной форме (табл. 2).

Таблица 1

### **Результаты химического и пробирного анализа пробы руды**

Соединения и элементы	Содержание, %	Соединения и элементы	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	59,78	S <sub>общ.</sub>	0,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,11	S <sub>сульф.</sub>	0,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,7	S <sub>орг.</sub>	<0,01
CaO	0,39	Cu	0,36
MgO	0,14	Zn	0,0087
TiO <sub>2</sub>	0,06	Pb	0,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	As	8,3
K <sub>2</sub> O	0,30	Sb	<0,01
Na <sub>2</sub> O	0,05	Au, г/т	24,9
MnO	0,009	Ag, г/т	184

Таблица 2

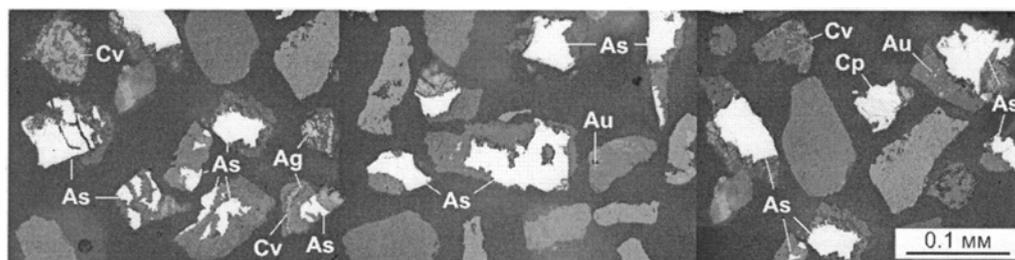
**Результаты фазового анализа мышьяка**

Формы нахождения	Содержание As, %	Распределение As, %
Мышьяк в сульфидной форме	0,57	6,8
Мышьяк в окисленной форме	7,81	93,2
<b>Итого</b>	<b>8,38</b>	<b>100,0</b>

Таблица 3

**Минеральный состав руды**

Минерал	Содержание, %
Кварц	60
Скородит	25
Гидроксиды Fe	8
Слюды, глинистые минералы	5,7
Бедантит	Следы
Арсенопирит	1,3
Халькопирит	«
Ковеллин	«
<b>Сумма</b>	<b>100</b>

**Рис. 1. Минералы тяжелой фракции хвостов (фото монтированных шлифов):**

As — реликты арсенопирита, Ср — халькопирит, Cv — ковеллин, Au — самородное золото (размеры 1х3 мкм), Ag — акантит. Остальные зерна представлены скородитом в смеси с гидроксидами железа

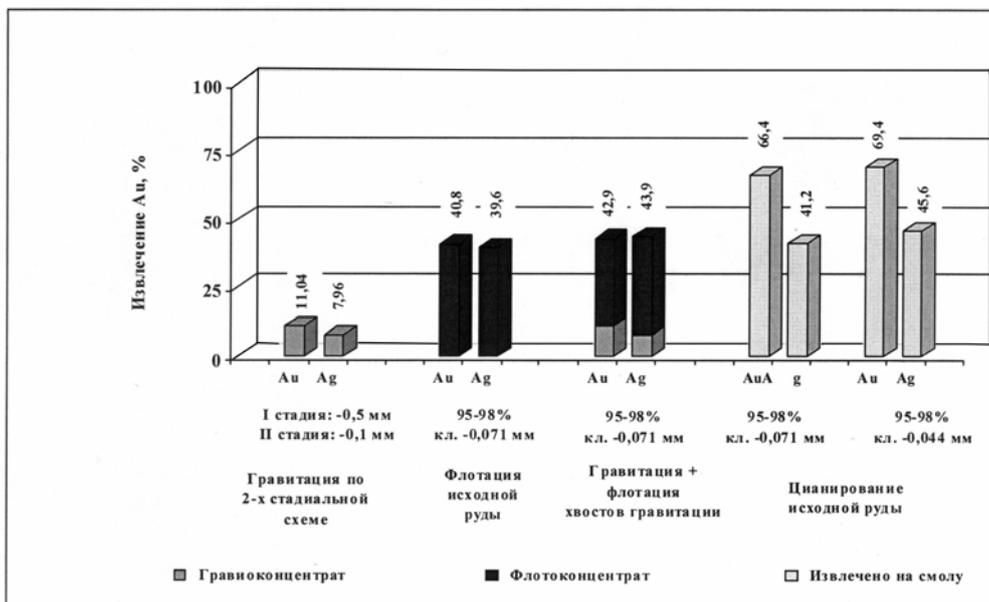
По данным вещественного состава руды, учитывая присутствие в руде, в основном, тонкого и тонкодисперсного золота, наличие значительного его количества в неизвлекаемой цианированием форме, (более 46 %, в том числе 35,64 % заключено в скородите), данные руды можно отнести к труднообогатимым золото-кварц-мышьяковистым (скородитовым) рудам.

Скородит  $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  образуется в результате псевдоморфного

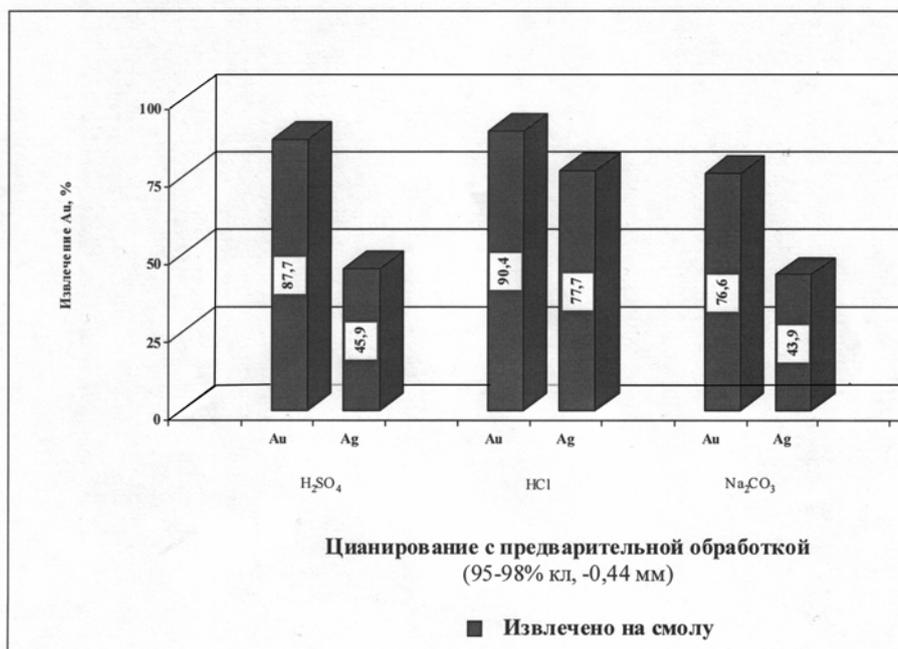
замещения арсенопирита. При псевдоморфном замещении арсенопирита скородитом рассеянное в сульфиде тонкодисперсное золото остается неподвижным и сохраняет форму своего нахождения.

Видимое самородное золото при тщательном просмотре шлифов не обнаружено. Отмечено только два выделения размерами 1х3 мкм в скородите (см. рис. 1).

Основной трудностью при обогащению таких руд является значительные



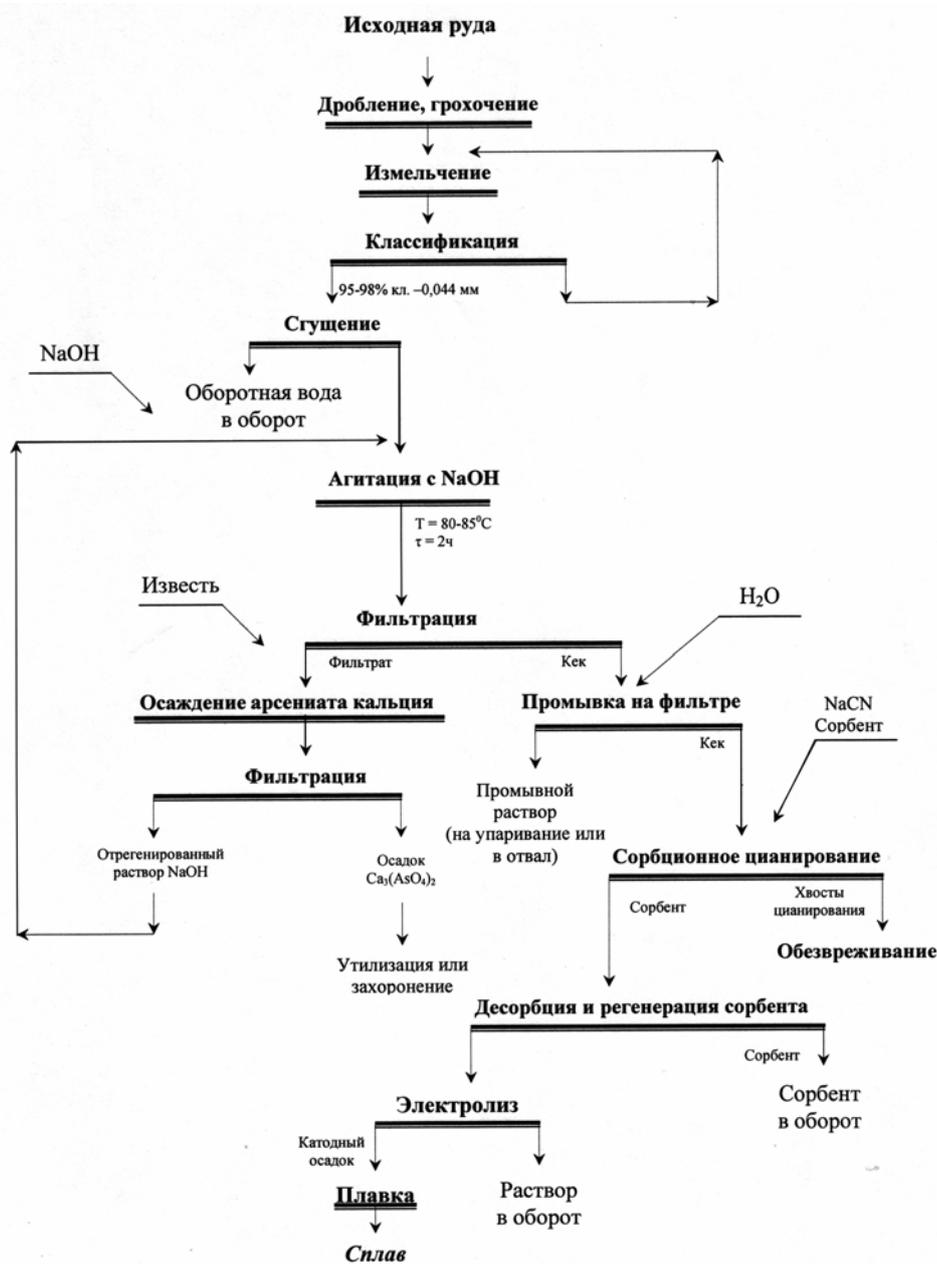
**Рис. 2. Результаты исследований на обогатимость**



**Рис. 3. Результаты исследований на обогатимость**

потери при переработке их по традиционным схемам: гравитации, цианирования, флотации и др.

Так, при изучении обогатимости одного из золото-кварц-мышьяковистого (скородитовым) месторождения,



**Рис. 4. Рекомендуемая принципиальная схема переработки золотосодержащей руды**

расположенного в Магаданской области установлено, что гравитационное обогащение руды протекает не эффективно, что обусловлено наличием в руде, в основном, тонкого и

тонкодисперсного золота и серебра, а также наличием значительного количества золота, заключенного в скородите, который имеет относительно низкий удельный вес (3,1—3,3 г/см<sup>3</sup>)

и плохо извлекается гравитационными методами.

Несмотря на возможность получения богатой «золотой головки» с содержанием золота 13,4 кг/т и серебра 8,25 кг/т, а также относительно богатого объединенного гравиконоцентрата с содержанием золота 187,7 г/т и серебра 1091 г/т, около 89 % золота и 92 % серебра остается в хвостах гравитации.

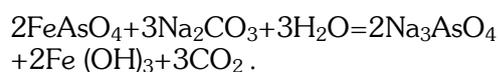
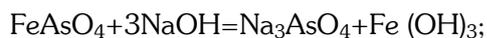
Как видно из приведенных данных, переработка руды флотационным методом обогащения также не эффективна, т.к. извлечение золота в пенные продукты составило 40,75 %, серебра — 39,63 %. Потери золота и серебра с хвостами флотации составили 59,25 % и 60,37 % при содержании их в хвостах 16,8 г/т и 129 г/т соответственно. Предварительное гравитационное обогащение руды лишь незначительно повышает показатели флотации хвостов гравитации — золота на 2,14 %, серебра — на 4,26 %. Потери золота и серебра с хвостами флотации составили 57,11 % и 56,21 % при содержании их в хвостах 17,2 г/т и 128 г/т соответственно.

Во всех опытах извлечение золота при цианировании исходной руды при различной крупности и продолжительности процесса 24—48 часов составило 65,4—69,4 % при содержании его в хвостах цианирования более 8,06—8,67 г/т, что соответствует содержанию золота, заключенного в скородите (в пересчете на руду — 8,57 %).

Результаты выполненных исследований по обогащению руды по различным технологическим схемам приведены на рис. 2 и рис. 3.

Известно, что отличительной особенностью скородита является его

относительно высокая химическая активность по отношению к гидроксидам и карбонатам щелочных металлов (NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и др.). При взаимодействии скородита с указанными реагентами мышьяк образует водорастворимый арсенат натрия, а железо остается в твердой фазе в виде гидроксида:



Переход железа из арсената в гидроксид сопровождается полным разрушением кристаллической структуры FeAsO<sub>4</sub>, что в свою очередь приводит к вскрытию ассоциированного с ним золота. Предварительная обработка руды щелочными растворами и цианирование кеков выщелачивания является одним из методов гидрометаллургического извлечения золота (в случае необходимости и мышьяка) из скородитовых руд и других подобных им продуктов. и цианирование кеков выщелачивания является одним из методов гидрометаллургического извлечения золота (в случае необходимости и мышьяка) из скородитовых руд и других подобных им продуктов.

Предварительная обработка руды щелочными растворами и цианирование кеков выщелачивания является одним из методов гидрометаллургического извлечения золота (в случае необходимости и мышьяка) из скородитовых руд и других подобных им продуктов.

Преимуществами щелочного выщелачивания арсенатов (по сравнению с кислотным вариантом) является более низкие требования к коррозионноустойчивости оборудования, отсутствие необходимости нейтрализации кеков перед поступлением их

на цианирование, а также более легкая технология обезвреживания сточных вод и хвостов технологического процесса.

На основании результатов выполненных исследований для переработки руды рекомендуется сорбционная цианистая технология, включающая

предварительную обработку 10-ти процентным NaOH при температуре 80—85 °С в течение 2 часов при крупности помола руды 95—98 % кл. — 0,044 мм и сорбционное цианирование кека щелочной обработки, обеспечивающая извлечение золота 89,4 % и серебра 78,9 % (рис. 4).

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

---

*Куликов Е.В.* — научный сотрудник отдела обогащения минерального сырья ФГУП ЦНИГРИ.  
kuli4.e@rambler.ru



---

### **ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)**

#### **АНАЛИЗ ТРАФИКОВ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ**

*Бахвалов Л.А.* — доктор технических наук, профессор,

*Ни У Кхе* — аспирант, Nikoye18481@gmail.com

*Репин Д.С.* — кандидат технических наук,

*Широчин Д.Л.* — доктор технических наук, профессор,

Московский государственный горный университет.

Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2012. — № 12. — 20 с. — М.: Издательство «Горная книга».

*При помощи метода имитационного моделирования смоделирована работа системы массового обслуживания по фильтрации сообщений (СМО «Спамооборона»). Разработано инструментальное средство для имитационного моделирования с использованием программной среды Visual Studio C# .NET, поскольку это самый новый и наиболее эффективный инструмент создания приложений от Microsoft для платформы Windows.*

*Ключевые слова: статистика, сейсмоопасность, сейсмостойкость, компьютерная сеть, трафик.*

#### **ANALYSIS OF TRAFFIC CLIENT-SERVER NETWORK ON THE BASIS OF THE STATISTICS OF EXTREME VALUES**

*Bakhvalov L.A., Ni U Khe, Repin D.S., Shirochin D.L.*

*Among set of the problems arising at the analysis of the traffic in corporate computer networks, the problem of forecasting of occurrence of critical situations in functioning of the network, its separate elements connected with limited throughput is rather important. It is offered for the decision of the specified problem of forecasting – first of all long-term — to use a mathematical apparatus of statistics of extreme values.*

*Key words: statistics, seismic hazard, seismic stability, a computer network traffic.*