

УДК 622.7

**Ю.А. Мамаев, Т.Н. Александрова, Н.М. Литвинова,
М.А. Гурман**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА
ИЗ УПОРНЫХ РУД***

Приводятся обобщающие данные исследований по использованию химических добавок на последовательных стадиях трансформации упорных золотосодержащих руд. Определены пути интенсификации процесса извлечения: интенсификация рудоподготовки путем направленного изменения свойств минералов; повышение эффективности процесса флотации путем подготовки поверхности минералов к сорбции с применением традиционных и специальных реагентов-собирателей; разработка селективных реагентов-собирателей; оптимизация технологических параметров цианирования путем введения дополнительных реагентов окислителей.

Ключевые слова: упорные золотосодержащие руды, рудоподготовка, обогащение руд, гравитационно-флотационная схема.

Семинар № 22

**J.A. Mamayev, T.N. Aleksandrova,
N.M. Litvinova, M.A. Gurman
PHYSICAL AND CHEMICAL
WAYS OF INTENSIFICATION OF
GOLD EXTRACTION FROM
PERSISTENT ORES**

Generalizing data of researches on the use of chemical additives at consecutive phases of transformation persistent gold-including ores is cited. There are defined the ways of intensification of extraction process: an intensification of ore-preparation by the directed change of minerals properties; increase of efficiency of process of flotation by minerals surface preparation to sorption with the use of traditional and special reagents-collectors; developing of selective reagents-collectors; technological parameters of cyanidation optimization by bringing in additional oxidizers reagents.

Key words: Persistent gold-including ores, ore-preparation, ore enrichment, gravitational-floatation scheme.

Создание новых и совершенствование существующих методов и средств извлечения золота из минерального и техногенного сырья является предметом ориентации теоретических и экспериментальных исследований в области обогащения полезных ископаемых. В технологических разработках по переработке руд наиболее значимыми представляются новые подходы к обогащению упорных руд, трудная обогатимость которых обусловлена связанностью золота в сульфидах (арсенопирите, пирите) и распространением тонкого золота [1]. Исследования проведены на пробе, отобранной геологической службой ООО «Дальневосточные ресурсы» в 2005 г. и представляющей руды Анфисинской рудной зоны. Настоящие исследования проведены с целью изучения возможности совершенствования технологии обогащения руд, содержащих золото, тонковкрапленное в халькофильные минералы (пирит, арсенопирит, халькопирит и др.).

*Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проект № 22 - ИН - 07).

Таблица 1
Минеральный состав исследуемой пробы

Минералы, породы	Количество, %
Основные, в т.ч.	5,0
Золото	0,0013
Пирит	5,0
Арсенопирит	
Кварц	30,0
Карбонаты	11,0
Кварц-полевошпатовые	49,0
Глинистые	4,5
Углистое вещество	0,4
Аксессуары	остальное
Сумма	100,0

Для руд данного месторождения ИР-ГИРЕДМЕТом (Иркутск) и ГЕОТЭ-Пом (Москва) разработана технологическая схема, включающая флотацию, биовыщелачивание, сорбционное цианирование с последующим электролитическим выделением золота и плавкой на металл Доре. Подобная технология реализована на фабриках Южной Африки и на Олимпиаденской ЗИФ (Россия). Сквозное извлечение золота по схеме составляет 87-90%. На наш взгляд, необходимо продолжать исследования по поиску более совершенных и менее затратных технологий переработки подобного сырья. Тем более что в настоящее время в Якутии и на Севере Хабаровского края известно достаточно много новых месторождений и рудопроявлений, содержащих золотонесущие сульфиды и арсениды. Поэтому вопросы, связанные с разработкой вариантов эффективного вскрытия такого золота, имеют значительный научный и практический интерес.

Настоящие исследования проведены по нескольким направлениям. На первом этапе изучены основные технологические свойства пробы, на основании которых были получены данные, подтверждающие чрезвычайно трудную обогатимость материала пробы. На втором этапе работы проведены углубленные исследования по

вскрытию золотонесущих сульфидов и арсенидов.

На основании макро- и микроскопического изучения Албазинской технологической пробы можно сделать вывод, что проба отобрана из гидротермально-метасоматической штокверковой зоны, локализованной на контакте субвулканической интрузии риодацитов и глинисто-углистых алевролитов. Рудная минерализация, представленная преимущественно пиритом и арсенопиритом, локализуется в алевролитах и в меньшей мере в риодацитах.

Минеральный состав исследуемой пробы приведен в табл. 1.

Рациональный анализ исследуемой пробы приведен в табл. 2.

Фактор упорности Φ характеризует долю трудноизвлекаемого золота от массы общей пробы и рассчитывается по формуле:

$$\Phi = 100 - (P + S + H).$$

Руда чрезвычайно упорная, по «базовой» технологии – «сорбционное цианирование» - можно извлечь не более 34% золота, при условии интенсивного воздействия на пленки и покрытия при рудоподготовке до 38,4%, $\Phi = 0,66$.

Для вовлечения резерва и снижения фактора упорности по отношению к цианистому процессу, опреде-

Таблица 2

Рациональный анализ исследуемой пробы

Минеральные формы	золото		Примечание
	г/т	%	
Свободное при -2 мм	-	-	
-0,15 мм	2,00	15,4	
Итого свободное, амальгамируемое	2,0	15,4	
Сростки, цианируемое	2,41	18,5	Фактор упорности - 0,66
Относительно легко извлекаемое	4,41	33,9	
Пленки, оксиды, карбонаты (P)	0,58	4,5	Резерв возможно интенсифицировать при рудо-подготовке
С сульфидами (S)	7,51	57,6	Требуется включение процесса флотации, резерв
С породообразующими (H)	0,52	4,0	Потери
Итого исходная руда	13,02	100,0	

лены пути интенсификации процесса извлечения:

1. Интенсификация рудоподготовки, путем направленного изменения свойств минералов и руд (применение химических реагентов на стадии измельчения);

2. Повышение эффективности процесса флотации путем подготовки поверхности минералов к сорбции традиционных и специальных реагентов-собирателей; разработка селективных реагентов-собирателей;

3. Оптимизация технологических параметров цианирования путем введения дополнительных реагентов окислителей.

Интенсификация рудоподготовки

Методы интенсификации рудоподготовки золотосодержащих руд ДВ региона путем применения химических добавок на стадии измельчения являются достаточно эффективными [2 - 4]. В качестве добавок использованы: хлористый натрий, карбонат натрия, гидроксид натрия, гидрокарбонат натрия, пихтовое масло, комплекс поверхностно-активных веществ (ПАВ), йод, хлористый натрий, сернистый натрий, техароп №70, отбельная глина, «ФУЗ» (отход масло-жирпроизводства) и их сочетания.

Кинетику процесса измельчения предлагаем оценивать по уравнению $R = R_0 \cdot e^{-\alpha k t}$, где α – коэффициент, учитывающий влияние химических добавок.

Повышение эффективности процесса флотации

Для оценки влияния приложенных воздействий при измельчении руд на технологические показатели, проводили обогащение подготовленного материала методом флотации с использованием лабораторной стержневой мельницы и лабораторной флотационной машины при разном времени воздействия на материал при измельчении, в том числе с введением химических добавок в процесс рудоподготовки.

Измельчение материала, содержащего золотонесущие пирит и арсенопирит, при введении в мельницу смеси реагентов: гидроксида натрия (50 г/т), сульфида натрия (10 г/т) и йода (50г/т), сопровождается локальным нагреванием поверхности минеральных частиц, интенсифицирующим развитие окислительных процессов, что в условиях постоянного обновляющейся поверхности, характерных для процесса измельчения, позволяет получать более од-

нородный гранулометрический состав по готовому классу, способствует снижению доли «трудных классов». Присутствие сернистого натрия в количестве 10 г/т позволяет более эффективно подготовить поверхность халькогенидов к последующей флотации.

Были проведены также экспериментальные исследования по интенсификации флотационных процессов с введением новых реагентов в процесс флотации. Наиболее показательные результаты были получены при использовании отходов маслянистого производства, а именно реагента «ФУЗ» [5]. При этом нужно отметить, что 100 %-я замена классического бутилового ксантогената названным выше реагентом не дает положительных результатов, а в комплексе эти реагенты дают прирост извлечения золота в черновой концентрат (при соотношении 1:5 соответственно «ФУЗ» и бутилового ксантогената). Следует предположить, что реагент «ФУЗ» обладает определенной селективностью по отношению к золоту.

Оптимизация технологических параметров цианирования путем введения дополнительных реагентов-окислителей

Для экспериментов было наработано 4 кг объединенного флотационного концентрата следующего состава: пирит + арсенопирит (1,6:1) – 80%; магнетит + ильменит (5:1) – 12%; кварц, полевой шпат, карбонаты, слюды, амфибол – 6%; сростки рудных с пороодообразующими – 2%. Среди сростков установлены: магнетит с кварцем; пирит (сульфиды) с алевролитом и карбонатом.

В немагнитной фракции объединенного концентрата фиксируется свободное золото, разнозернистое, с разнообразными морфологическими формами (изометрическое, лепешко-

видное, уплощенное, пластинчатое с крючковатыми отростками, столбчатое). Цвет золотинок от ярко-желтого до серовато-желтого; желтого и буровато-желтый с красноватым налетом. Края пластинок неровные, иногда развальцованные, вследствие рудоподготовки.

Гранулометрический состав флотационного концентрата свидетельствует о достаточно тонком измельчении материала – более 50% представлено частицами крупностью менее 45 мкм. Вместе с тем наличие в хвостах флотации не раскрытых тонких сложных сростков сульфидов с рудными и нерудными компонентами убедительно доказывает необходимость более жесткого измельчения, т.к. именно такие сростки способствуют повышению потерь золота. Присутствие углистого вещества в алевролитах также установлено во всех пробах. В процессе флотации часть сложных сростков – пирит-алевролит-карбонат – остается в хвостах, а углистое вещество фиксируется в легкой фракции основного сульфидного концентрата. Экспериментальные исследования по вскрытию золота в присутствии различных окислителей и режимные параметры экспериментов приведены в табл. 4.

Для сорбции использовали активированный уголь (3 г на навеску концентрата). Уголь после сорбции анализировали на спектрокане, позволяющем фиксировать изменение элементного состава угля в результате сорбции. Результаты вскрытия оценивали по интенсивности пиков Au, сорбированного активированным углем. В табл. 5 приведены сводные данные, полученные в результате экспериментов.

Анализируя данные (табл. 5) видно, что наиболее активное вскрытие золота наблюдается в опытах № 7 и 8 (рис. 1). Присутствие соды интенсифицирует процессы окисления сульфидов,

Таблица 4

Экспериментальные исследования по вскрытию золота.
Const = навеска 200 г; Т:Ж = 1:2,5

№ серии опытов п/п	Состав жидкой фазы Условия проведения процесса
	2
1	Цианирование при pH = 10,36 в присутствии пероксида бария - 0,3 г, концентрация цианида - 0,098% продолжительность процесса - 24 часа
2	То же, что и опыт 1, но без введения пероксида бария при концентрации цианида - 0,3%
3	Отмывка концентрата дистиллированной водой с последующим цианированием 0,1% раствором цианида
4	Предварительная агитация концентрата 10% содовым раствором с последующим цианированием 0,098% раствором цианида
5	Предварительная агитация флотоконцентрата смесью Na ₂ CO ₃ +J ₂ с последующим цианированием 0,098% раствором цианида
6	Двухстадийное цианирование: 1 стадия - смесь Na ₂ CO ₃ +0,098% раствор цианида - 12 часов 2 стадия цианирования кека
7	1 стадии смесью Na ₂ S ₂ O ₃ (50 г/т)+ J ₂ (150 г/т) 0,098% цианида Предварительная обработка флотоконцентрата 5% раствором азотной кислоты, отмывка кека водой и последующее цианирование 0,098 % раствором цианида при pH=10 (известь)
8	Предварительная обработка флотоконцентрата 10% раствором азотной кислоты с последующим цианированием отмытого кека 0,098% раствором цианида при pH=10 (известь)
9	Цианирование исходной руды крупностью -0,5+0,045 мм в присутствии пероксида бария при pH-10,34 (известь)
10	Цианирование хвостов флотации 0,098% раствором цианида, аналогично опыту 9

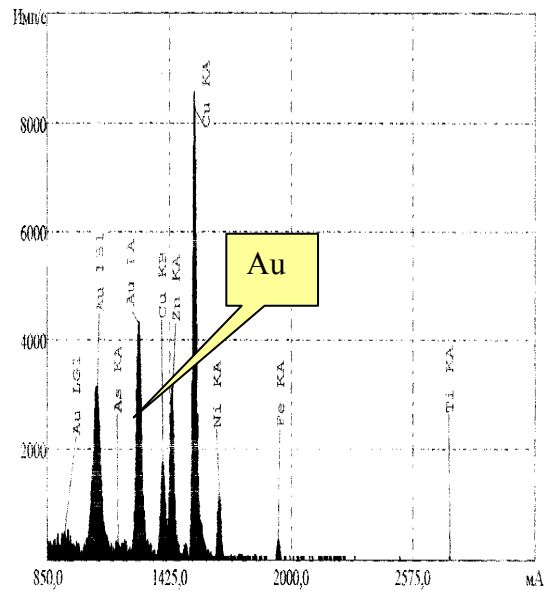
Таблица 5

Результаты экспериментов

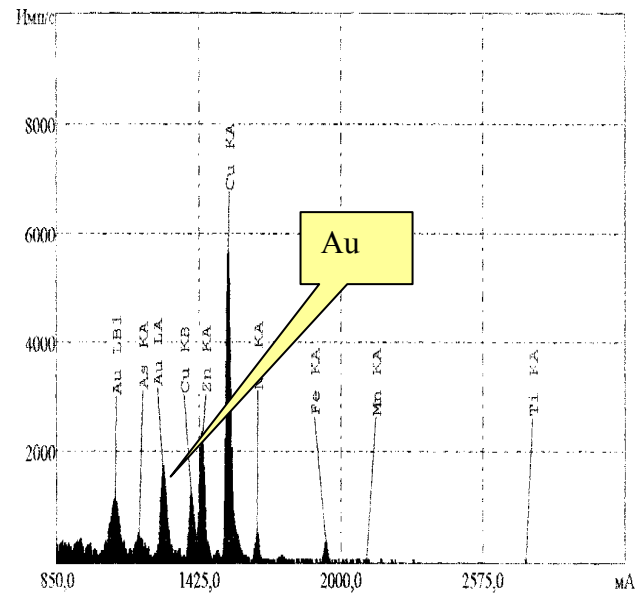
№ серии опытов п/п	Au Cu	As Fe	Инт. Au	E _{Au} в растворе	Сорбц. емкость угля, мг/г	Расход цианида, кг/т концентрата
1	0,32	0	3200	13,95	1,14	1,58
2	0,48	~0,8	3300	23,29	1,41	4,0
3	~1,45	1	4100	25,04	1,19	2,45
4	0,6	1	4800	27,68	1,78	1,95
5	~0,5	1	4200	26,68	1,17	1,75
6	~1,6	~1,2	1800	23,05	1,22	2,0
7	0,36	6	1800	39,40	2,04	1,5
8	2,2	~5,5	2200	20,37	1,02	2,0
9	0,06	0	500	-	3,87	2,15
10	0	0	-	-	0,12	1,05

в еще большей степени окислительные процессы развиваются при одновременном введении соды и спиртового раствора йода, вероятно, за счет раз-

вития процесса йодоцианирования, аналогично бромочианированию, широко рекомендуемому для переработки чрезвычайно упорных руд.



а) опыт 5



б) опыт 6

Уголь после сорбции

Таким образом, для упорной руды Албазинского месторождения предлагается гравитационно-флотационная схема, с последующим сорбционным цианированием. Причем применение дополнительных химических реаген-

тов на последовательных стадиях трансформации сырья позволяет извлекать резерв золота, сквозное извлечение по предлагаемой схеме достигает 92 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов Ю.Г. Потенциальные возможности развития минерально-сырьевой базы золота России в XXI веке. // www.scgis.ru
2. Мельникова (Александрова) Т.Н., Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М. К вопросу оптимизации процесса измельчения руд //Обогащение руд». - 2006.- №4.- с.5-8.
3. Литвинова Н.М., Ятлукова Н.Г., Мельникова Т.Н., Данилов Е.И. Интенсификация процесса измельчения труднообогатимой золотосодержащей руды Албазинского месторождения. // Горный журнал. - 2006. - № 10. - С.63-64. (соавторы Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М., Данилов Е.И.).
4. Литвинцев В.С., Мельникова Т.Н., Литвинова Н.М., Ятлукова Н.Г. Механоактивация в процессах рудоподготовки.// Горный журнал. - 2006. - № 6. - С. 95-97.
5. Мамаев Ю.А., Александрова Т.Н., Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М. К исследованию обогатимости руд, содержащих халькогенидные минеральные комплексы. // Горн. информ.-аналит. бюл. - 2007, №4.- с.300-304. **ГИАЗ**

Коротко об авторах

Мамаев Ю.А.- доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор,
Александрова Т.Н. - кандидат технических наук, зав. лабораторией,
Литвинова Н.М.- научный сотрудник,
Гурман М.А. - ст. научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН, eco@igd.khv.ru



РУКОПИСИ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Макшанкин Д.Н., Гоголин В.А., Ремезов А.В. Математическое моделирование стендовых испытаний арочных крепей в жестком режиме. (721/11-09 от 03.09.09 г.) 7 с.

Промышленное использование арочных крепей возможно только после стендовых испытаний, которые должны подтвердить их работоспособность. Авторы предлагают математическое моделирование методом конечных элементов экспериментального стендового испытания для арочной трехзвенной крепи, испытываемой в жестком режиме.

Makshankin D.N., Gogolin V.A., Remezov A.V. MATHEMATICAL MODELING OF BENCH TEST OF ARCHED ROOF SUPPORTS IN HARD MODE

Industrial use of arched roof support possible only after the test bench, which should confirm their efficiency. The authors propose a mathematical modeling of the finite element method of experimental bench test for the three-tier arched roof supports, tested in hard mode.