

УДК 662.7:622.342.1

**Н.В. Ибрагимова, Д.Х. Ким**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ  
БЕДНЫХ РУД И КОР ВывЕТРИВАНИЯ**

*Методом корреляционного анализа были выявлены критерии оценки качества руд на основании результатов исследования 30 золотосодержащих бедных руд и кор выветривания. Эти критерии можно использовать для предварительной оценки руд на обогатимость.*

*Ключевые слова: бедные золотосодержащие руды, коры выветривания, критерий оценки качества, коэффициент корреляции.*

---

**В** России ежегодно перерабатываются миллионы тонн минерального сырья, выбор того или иного метода переработки основывается на технологических свойствах сырья.

Из практики обогащения золотосодержащих руд известно, что технологию и показатели её переработки предопределяют следующие факторы: минеральный и химический состав руд; содержание и технологические свойства золота (характер вкрапленности с рудными и породными минералами, крупность и морфология золотин); наличие попутных полезных компонентов; степень окисленности руд, характеризующейся содержанием в них сульфидных и окисленных рудных минералов; наличие в рудах «вредных» компонентов, существенно осложняющих их переработку (мышьяк, углистое вещество, сурьма и др.).

Как правило, при изучении технологических свойств руды и методов её обогащения изучают её химический и минералогический состав, вещественный состав и формы нахождения золота; проводят технологические исследования возможными методами

обогащения (гравитацией, флотацией, цианирования и кучного выщелачивания); анализируют полученные результаты и выбирают оптимальную технологическую схему переработки.

Для сокращения работ по определению рациональной технологической схемы обогащения руд были разработаны критерии оценки качества и технологических свойств руд на основании обобщенных данных изучения вещественного состава и технологической оценки 30 проб бедных золотосодержащих руд и кор выветривания методами гравитации, флотации, цианирования и кучного выщелачивания, полученных за последние годы в ЦНИГРИ. Критерии оценки качества и технологических свойств бедных золотосодержащих руд и кор выветривания выявлены статистическим методом корреляционного анализа. Вещественный состав исследуемых объектов представлен в табл. 1.

В качестве критериев оценки качества бедных золотосодержащих руд и кор выветривания для того или иного метода обогащения рассматривали следующие параметры:

∞ Таблица 1

**Вещественный состав исследуемых бедных золотосодержащих руд и кор выветривания**

Количество проб, шт	Содержание, %			Формы нахождения золота, %					Степень окисления по сере, %
	Ag, г/т	As	C орг	Свободное золото	В открытых сростках	В кислоторастворимых минералах	В сульфидах	В породообразующих минералах	
<b>Бедные золотосодержащие руды</b>									
Окисленные руды с содержанием золота 0,42—1,47 г/т									
5	0—27,4	0,01—1,18	0,01—1,12	20—75	5,8—70,97	0—5,3	2,15—15,8	1,11—10,5	61,5—98,7
Убогосульфидные руды, с содержанием золота 0,6—1,75 г/т									
6	0—14,3	<0,01—0,38	<0,01—0,47	30,3—66,15	13,58—50,00	0—6,32	3,7—6,8	1,4—10,9	2,6—11,1
Малосульфидные руды с содержанием золота 0,5—1,96 г/т									
3	0,9—2,6	<0,01—	<0,01—0,19	28,0—76,72	18,17—67,6	2,0—2,53	0,29—2,84	0,56—2,29	0,8—7,2
Умеренно-сульфидные руды с содержанием золота 1,21—1,83 г/т									
4	1,76—7,63	1,21—1,83	0,06—0,43	5,0—47,6	10,3—71,0	0—11,6	0,5—47,8	3,7—38,9	1,9—4,2
<b>Коры выветривания</b>									
Со средним содержанием золота до 2 г/т									
3	1,8—6,38	0,03—1,18	<0,01—2,00	18,28—75,0	5,8—70,97	0—4,44	2,15—12,5	1,11—6,7	20,1—89,1
Со средним содержанием золота 2—5 г/т									
5	2,26—4,05	<0,01—0,23	<0,01—0,04	1,71—89,88	3,16—92,44	2,85—5,29	0—2,9	1,22—4,11	0,2—49,2
Со средним содержанием золота более 5 г/т									
4	6,3—24,9	0,02—8,29	<0,01	7,04—38,26	46,85—67,6	1,86—38,76	0—7,06	0,29—1,6	10,1—40,2

- исходное содержание золота и других полезных компонентов;
- химический и минеральный состав руд:
  - крупность золотин — крупное, мелкое и тонкодисперсное;
  - форма нахождения золота, характер связи (ассоциации) драгоценных металлов с рудными и порообразующими минералами;
  - наличие в рудах «вредных» компонентов, отрицательно влияющих на показатели извлечения золота в технологических процессах.

Для определения возможности эффективного применения метода кучного (перколяционного) выщелачивания в качестве критерия рассматривали следующие факторы:

- физико-механические параметры руды: коэффициент фильтрации, объемная плотность, объемная масса, коэффициент разрыхления, общая пористость, полная влагоемкость;
- присутствие золота в руде в форме, доступной для цианистых растворов для дробленых материалов и сорбционная активность руды.

Рассмотрим одни из самых распространенных технологий переработки бедных руд и кор выветривания — гравитационная и цианистая технологии.

Так, например, для данных методов обогащения рассматривали зависимость извлечения золота от: исходного содержания; массовой доли золота в открытых смесях; массовой доли золота, заключенного в силикатах; массовой доли свободного золота; массовой доли свободного заключенного в сульфидах золота; массовой доли свободного золота и золота в открытых

смесях. Полученные зависимости представлены на рис. 1 и 2. Над каждым графиком показан статистически вычисленный коэффициент корреляции для данных зависимостей.

Статистический анализ результатов исследований показал, что наибольшая корреляция наблюдается: для гравитационного обогащения — между извлечением золота и массовой долей свободного золота + тонкодисперсного, заключенного в сульфидах золота (коэффициент корреляции — 0,969); для флотационного обогащения — между извлечением золота и массовой долей заключенного в сульфидах золота (коэффициент корреляции равен 0,925); для процесса цианирования — между извлечением золота и массовой долей цианируемого золота (свободное и в открытых смесях) — коэффициент корреляции равен 0,931; для кучного (перколяционного) выщелачивания — между извлечением золота при кучном выщелачивании и результатами агитационного цианирования дробленной руды — коэффициент корреляции равен 0,997 (табл. 2).

На примере бедной убогосульфидной руды Герфед-Самсоновского рудного поля с содержанием золота 0,6 г/т были апробированы выявленные критерии качества руд для оценки эффективности обогащения разными методами. Для этого был изучен вещественный состав руды: определены формы нахождения золота, характер вкрапленности его в рудные и породные минералы, крупность и морфология золотин и наличие вредных компонентов (табл. 3).

Золото в руде по данным минералогического анализа представлено неправильными трещинно-прожилковидными частицами сложных очертаний. Эти золотины достигают размера 0,4 мм. Присутствуют также бо-

лее мелкие изометричные частицы кристаллического габитуса, преобладающий класс  $-0,25+0,15$  мм. Пробность золота от 900 до 950, преобладают золотины 900 пробности.

Таблица 2

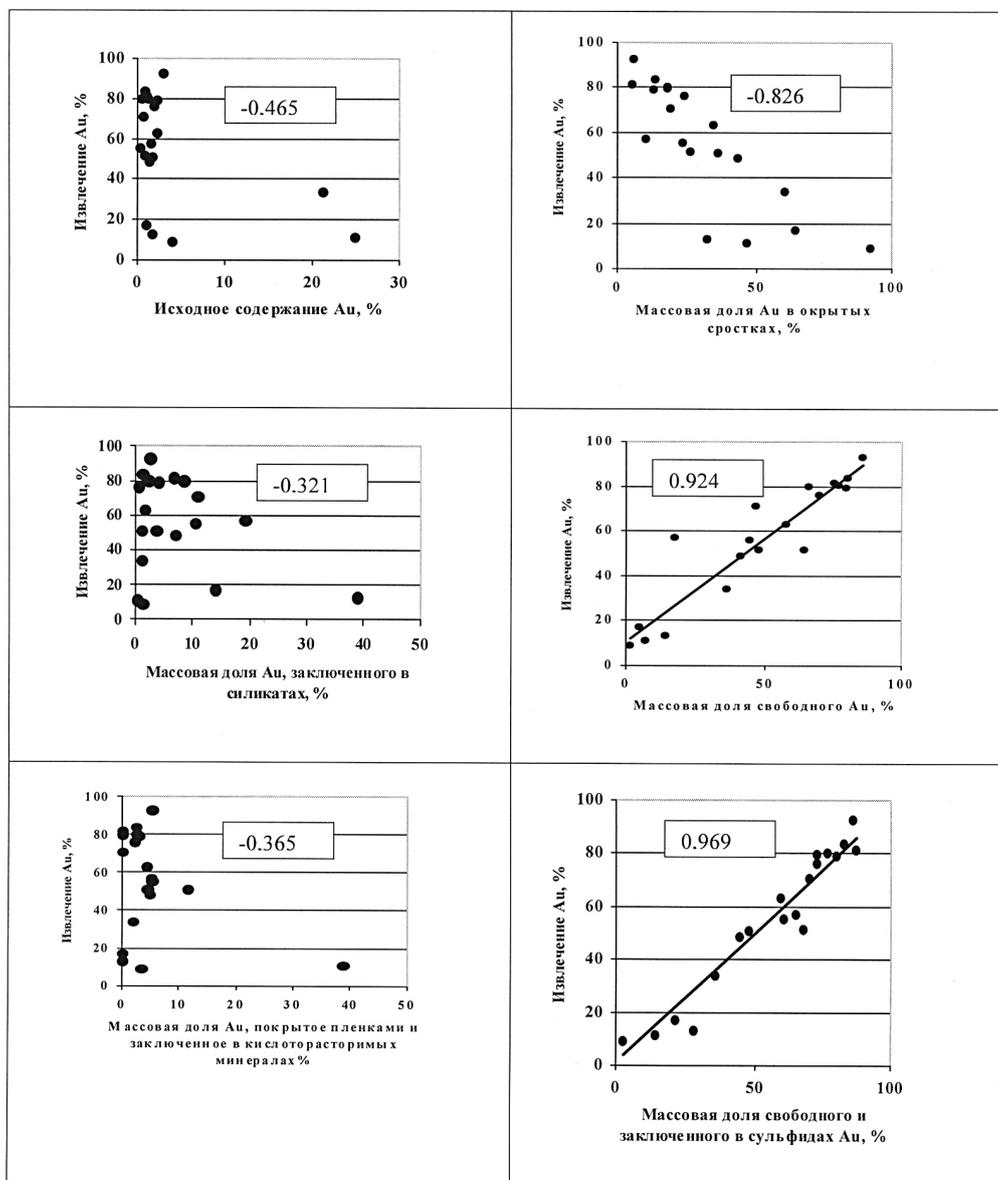
**Рекомендуемые критерии качества руды применяемые к различным методам обогащения**

Методы обогащения	Количество исследуемых объектов	Критерии качества руды	Коэффициент корреляции
Гравитационное обогащение	19	Массовая доля свободного золота (при наличии крупного и мелкого золота в рудах) и тонкодисперсного, заключенного в сульфидах	0,969
Флотационное обогащение	6	Массовая доля заключенного в сульфидах золота	0,925
Сорбционное цианирование	24	Массовая доля цианируемого золота (свободное и в открытых сростках)	0,931
Кучное (перколяционное) выщелачивание	9	Показатель агитационного цианирования дробленной руды до необходимой крупности.	0,997

Таблица 3

**Результаты изучения вещественного состава руды Герфед-Самсоновского рудного поля**

Вещественный состав руды		Показатели
Содержание полезных компонентов, г/т	Au	0,6
	Ag	—
Формы нахождения золота, %	Свободное	65,90
	В открытых сростках	18,12
	В минералах кислоторастворимых	1,15
	В сульфидах	6,59
Содержание вредных примесей, %	В минералах породообразующих	8,24
	As	0,02
	Sb	<0,01
	Сорг	0,02
Степень окисления по сере, %		90,2
Содержание сопутствующих полезных компонентов, %	Cu	0,024
	Zn	0,015

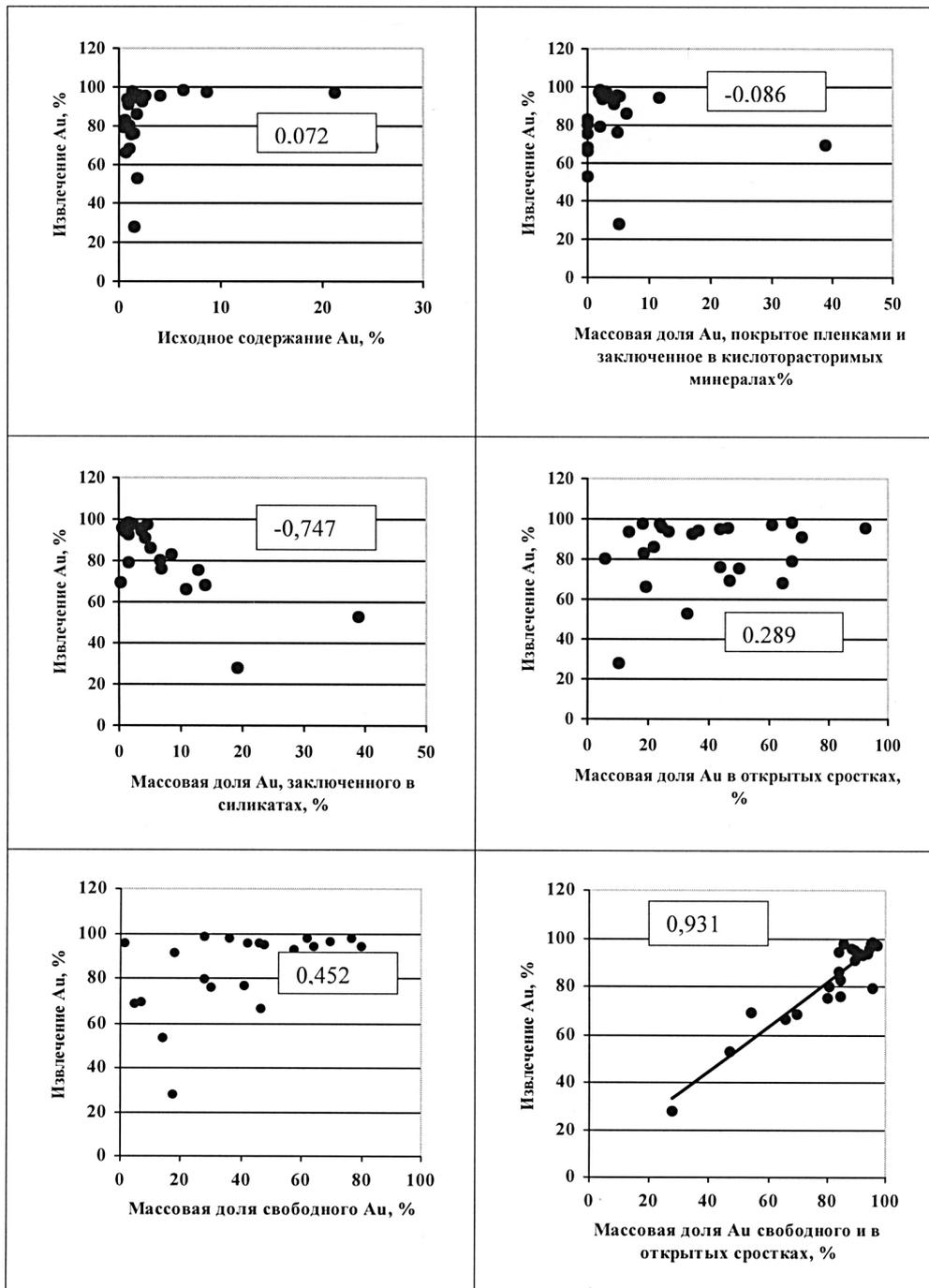


**Рис. 1. Влияние исходного содержания золота и форм его нахождения на показатели гравитационного обогащения золотосодержащих бедных руд и кор выветривания**

По результатам изучения вещественного состава руда данной пробы относится к убогосульфидным рудам с крупным золотом.

Основными применяемыми на практике методами обогащения ана-

логичных руд являются гравитационные и цианистые схемы переработки, а также кучное выщелачивание. В табл. 4 приведены значения критериев оценки эффективности применения различных методов обогащения,

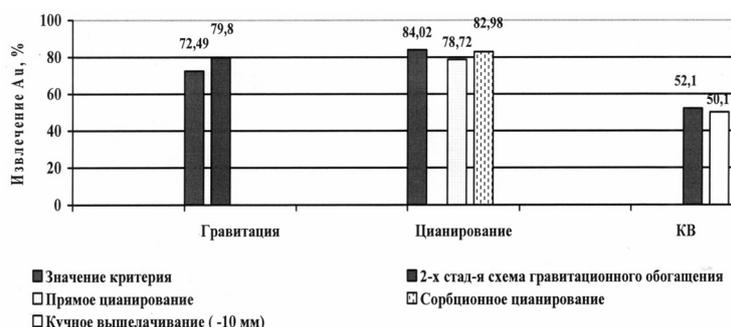


**Рис. 2. Влияние исходного содержания золота и форм его нахождения на показатели сорбционного цианирования золотосодержащих бедных руд и кор выветривания**

Таблица 4

**Критерии для оценки эффективности обогащения руды Герфед-Самсоновского рудного поля различными методами обогащения**

Методы переработки руды	Критерии качества руды	Значение критерия
Гравитационное обогащение	Массовая доля свободного и заключенного в сульфидах золота	72,49 %
Цианирование (90—95 % кл. -0,074 мм)	Массовая доля золота свободного и в открытых сростках (цианируемое)	84,02 %
Кучное (перколяционное) выщелачивание золота	Показатель агитационного цианирования дробленной руды до крупности -10 мм	52,1 %

**Рис. 3. Технологические исследования по изучению обогатимости руды Герфед-Самсоновского рудного поля**

а на рис. 3 приведены результаты исследований по изучению обогатимости руды Герфед-Самсоновского рудного поля. Полученные результаты технологических исследований по извлечению золота различными методами обогащения коррелируют с показателями критериев.

Проведенные исследования показали, что для выбора рациональных базовых схем извлечения золота можно использовать разработанные критерии оценки качества руд для прогнозирования технологических показателей при переработке руд методами гравитации, цианирования и кучного выщелачивания.

В соответствии с критериями оценки качества руды, для извлечения из нее

золота могут использоваться процессы гравитации и цианирования. Учитывая низкое содержание в руде золота (0,6 г/т) в качестве основной для его извлечения рекомендуется менее затратная гравитационная технология.

Апробирование разработанных критериев оценки качества и технологических свойств руд при разработке оптимальных технологических схем обогащения для бедных золотосодержащих руд и кор выветривания различного вещественного состава показало возможность использования их для прогнозирования показателей переработки руд различными методами обогащения и обоснования рациональных технологий переработки, что упростит и ускорит технологические исследования. **ГИАБ**

**КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

Ибрагимова Н.В. — научный сотрудник отдела обогащения минерального сырья,  
e-mail: 5658307@mail.ru,

Ким Д.Х.,

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, tsnigri@tsnigri.ru.