

Методика

УДК 549.79

Г. К. БЕКЕНОВА, Ю. П. ЕРЁМИН, А. П. СЛЮСАРЕВ,
С. ХАЙРУЛЛИНА, Н. Н. ЧАКИРТОВА, Т. И. МАЛУЕВА

(Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, г. Алматы)

РЕНТГЕНДИФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МИНЕРАЛОВ ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОТАЦИИ ТОНКОВКРАПЛЕННЫХ Au-РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОМАРОВСКОЕ И АРХАРЛЫ

Аннотация. На образцах тонковкрапленных Au-руд месторождений Комаровское и Архарлы исследована взаимозависимость между флотационным параметром – временем измельчения перед флотацией на пилотной флотоустановке с ВРПА в течение 20, 40, 60 мин. и структурными характеристиками флотируемых минералов – размером блоков когерентного рассеяния, или средним размером кристаллитов (D), величиной микроискажений (ε), или микродеформаций, параметром кристаллической решетки (a) и объемом элементарной ячейки (V). Полученные данные подтверждают потенциальную возможность контроля за процессом флотации с помощью структурных характеристик минералов.

Ключевые слова: обогащение и флотация, тонковкрапленные Au-руды, время измельчения, технологическая минералогия, параметры кристаллической структуры минералов.

Тірек сөздер: байыту мен флотациялау, жұқатенбілді алтын кендері, ұсақтау уақыты, технологиялық минералология, минералдардардың кристалдық құрылымдарының параметрлері.

Keywords: enriching and flotation, finely disseminated Au-ore, grinding time, technological mineralogy, crystal structure parameters of minerals.

Введение. Рентгendifрактометрический метод исследования вещественного состава образцов – один из классических и широко применяемых, особенно для определения их фазового состава. Он используется не только в разведочной геологии, почвенной минералогии, материаловедении, для характеристики минерального сырья в металлургии и обогащении, но и в прикладных отраслях.

Однако возможности метода гораздо шире, чем просто определение фазового минералогического состава образцов. На примере представленной работы мы увидим более глубокий анализ рентгendifрактометрической информации.

Теоретические основы формирования профиля дифракционного отражения были заложены в самых ранних классических работах, но только сейчас, благодаря компьютеризации, рентгеноструктурные исследования значительно упростились. Наряду с определением качественного и полуколичественного состава вполне доступным становится даже максимально сложное моделирование кристаллохимических особенностей структуры в разнообразных природных и технологических процессах.

Именно это и позволяет шире применить дифрактометрические данные для поиска корреляций и характеристики динамических процессов, будь то процессы измельчения и флотации, как в данной работе, или любые другие, в которых структурно – кристаллохимические особенности минералов могут меняться в зависимости от внешних факторов.

В данной работе сделана попытка поиска корреляций между параметрами кристаллической структуры минералов, извлеченных в процессе обогащения, от времени измельчения, для образцов тонковкрапленных золотосодержащих руд Комаровского месторождения и месторождения Архарлы. В этом и заключается смысл изучения структурных характеристик и параметров в качестве инструмента исследования и контроля за процессом обогащения.

Для изучения возможностей использования рентгенодифрактометрических данных с целью контроля минералов руд и продуктов флотации проведен полукачественный рентгенофазовый анализ 13 образцов из тонковкрапленных Au-руд месторождений Комаровское и Архарлы, определены размеры кристаллитов, параметры элементарной кристаллической решётки основных минералов руд, Au-концентратов и хвостов флотации.

Размер кристаллитов – блоков когерентного рассеяния (БКР) и дефекты структуры минералов тонковкрапленных руд и продуктов их обогащения определяются при рентгенодифрактометрическом исследовании по размытию (уширению) рефлексов, сдвигу дифракционных максимумов, изменению их интегральных интенсивностей [1-6].

Рентгенофазовый анализ образцов руды и продуктов флотации проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-4 с $Cu_{K\alpha}$ – излучением, β -фильтр. Условия съемки дифрактограмм: $U = 35$ кВ; $I = 20$ мА; шкала: 2000 импульсов; постоянная времени 2 с; съемка $0\text{--}20$; детектор 2 град/мин. Полукачественный рентгенофазовый анализ проводился с применением методов равных навесок и искусственных смесей. Определялись качественные соотношения кристаллических фаз. Дифрактограммы интерпретировались с использованием данных картотеки ASTM Powder diffraction file (PDF) и дифрактограмм чистых от примесей минералов [7 – 11].

Комаровское месторождение. Выполненный физико-химической лабораторией «НЦ КПМС РК» химический анализ показал, что в пробе золотосодержащей руды Комаровского месторождения содержится: золота – 1,88 г/т руды, серебра – 0,01 г/т руды, кремнезема – 37,65%, глинозема – 13,22%, окиси кальция – 7,86%, серы общей – 1,66%, железа – 9,13%, меди – 0,012%, свинца – 0,007%, цинка – 0,034%, калия – 0,87%, натрия – 1,29%.

Фазовый анализ руды показывает, что 51,36% золота находится в виде свободных зерен и в открытых сростках. Это – максимально возможный уровень извлечения золота цианидным выщелачиванием. Покрытое пленками золото составляет 24,04%, связанное с сульфидами – 7,10%, и в породе – 17,50%, то есть в сумме 48,64% следует отнести к упорным для извлечения формам.

При измельчении проб руды в течение 20–40–60 минут проведены сравнительные флотационные опыты с высоконапорным ротационным пульсирующим аэратором (ВРПА) (таблица 1) по представленному ниже реагентному режиму:

- расход медного купороса в агитацию 93 г/т руды;
- расход ксантофена в основную и контрольную операции по 53 г/т руды;
- расход вспенивателя Т-92 в основную и контрольную операции 53 и 28 г/т, соответственно.
- время основной флотации 8 минут, контрольной 10 минут.

Аэрогидродинамические условия при этом составляли:

- частота пульсаций -1,3 кГц (скорость вращения ротора – 800 об/мин.)
- объем воздуха в камере-0,197 дм³/с;
- объем подачи дополнительного воздуха- 0,066 дм³/с.

Для сравнения параллельно с ВРПА проведена флотация на стандартной флотомашине с объемом камеры 3 литра, при этом получено извлечение в основной флотации 76,30%, в контрольной – 11,10%, суммарное - 87,40%, при суммарном содержании в них золота -20,53г/т.

При флотации с ВРПА получены следующие результаты:

- при измельчении в течение 20 минут извлечение в основной флотации – 78,40% и в контрольной – 5,40% (суммарное 83,80%) при суммарном содержании в них золота 21,08г/т;
- при измельчении в течение 40 минут извлечение в основной флотации – 86,43% и в контрольной – 3,46% (суммарное 89,89%) при суммарном содержании в них золота 22,93г/т;
- при измельчении в течение 60 минут извлечение в основной флотации – 68,61% и в контрольной – 13,34% (суммарное 81,95%) при суммарном содержании в них золота 20,26г/т.

Из полученных экспериментальных результатов видно, что результаты флотации с ВРПА по сравнению со стандартным аппаратом:

- при измельчении в течение 20 минут извлечение в основной флотации получено на 2,1% ниже, суммарное с контрольной ниже на – 3,6%, суммарное содержание золота на 0,59г/т выше;
- при измельчении в течение 40 минут извлечение в основной флотации получено на 10,13% выше, суммарное с контрольной выше на – 2,49%, суммарное содержание золота на 2,40г/т выше;
- при измельчении в течение 60 минут извлечение в основной флотации получено; на 7,69% ниже, суммарное с контрольной ниже на – 5,45%, суммарное содержание золота на 0,27г/т ниже.

Таблица 1 – Результаты сравнительных флотационных опытов на стандартной флотомашине объемом камеры 3 литра и флотомашине с ВРПА, объемом камеры 15 литров

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание золота, г/т	Извлечение, %
Опыт № 0, стандартная флотомашинка, объем камеры 3 литра			
Концентрат основной флотации	4,67	31,46	76,30
Концентрат контрольной флотации	5,51	1,88	11,10
Хвосты отвальные	89,82	0,27	12,60
Σ показатели в основной и контрольной операциях	10,18	20,53	87,40
Исходная руда	100,0	1,75	100,0
Опыт № 1, ВРПА измельчение 20 минут			
Концентрат основной флотации	4,97	27,28	78,40
Концентрат контрольной флотации	1,60	1,84	5,40
Хвосты отвальные	93,43	0,30	16,20
Σ показатели в основной и контрольной операциях	6,57	21,08	83,8
Исходная руда	100,0	1,73	100,0
Опыт № 2, ВРПА измельчение 40 минут			
Концентрат основной флотации	5,02	30,13	86,43
Концентрат контрольной флотации	1,84	3,29	3,46
Σ извлечение в основную и контр.	6,86	22,93	89,89
Хвосты отвальные	93,14	0,19	10,11
Σ показатели в основной и контрольной операциях	6,86	22,93	89,89
Исходная руда	100,0	1,75	100,0
Опыт № 3, измельчение ВРПА 60 минут			
Концентрат основной флотации	4,38	27,74	68,61
Концентрат контрольной флотации	2,74	8,62	13,34
Хвосты отвальные	92,88	0,34	18,05
Σ показатели в основной и контрольной операциях	7,12	20,26	81,95
Исходная руда	100,0	1,77	100,0

Таким образом наиболее высокие результаты как по извлечению, так и по качеству получены при флотации руды после ее измельчения в течение 40 минут, т.е. при увеличении содержания частиц меньше 10 мкм выше 40% показатели флотации снижаются.

Рентгенофазовый анализ образцов продуктов флотации Комаровского месторождения приведен на примере дифрактограмм образцов №686 – золотосодержащий концентрат и №693 – хвосты флотации (рисунки 1, 2), полученных с применением автоматической обработки дифрактометрической информации [12, 13].

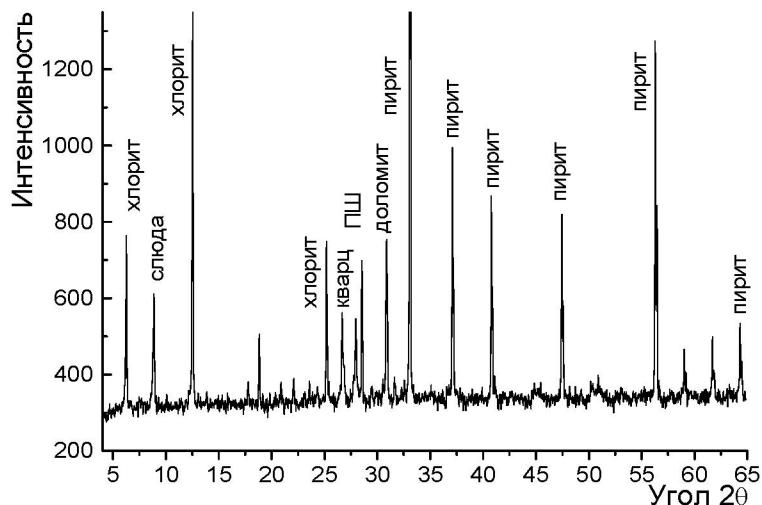


Рисунок 1 – Дифрактограмма образца №686 – золотосодержащий концентрат (20 минут измельчения)

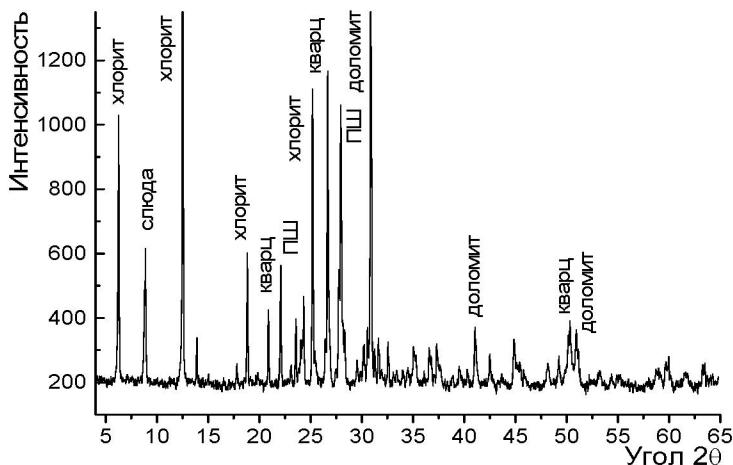


Рисунок 2 – Дифрактограмма образца №693 – хвосты флотации (40 минут измельчения)

Результаты полуколичественного рентгенодифрактометрического анализа образцов продуктов флотации, полученных при измельчении руды в течение 20-40-60 минут, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа продуктов флотации Комаровского месторождения

Название и № обр.	Длительность измельчения, мин	Минеральный состав, мас. %							
		Пирит	Доломит	Хлорит	Кварц	Плагиоклаз	Слюда	Магнезит	Кальцит
686 (Au – концентрат)	20	98	1	–	–	–	1	–	–
689 (хвосты флотации)	20	–	26	31	15	12	11	5	–
690 (Au – концентрат)	40	92	1,5	2	<<1	–	1,5	–	3
693 (хвосты флотации)	40	–	24	26	18	13	13	6	–
694 (Au – концентрат)	60	78,5	4,5	6	4	2	4	–	1
697 (хвосты флотации)	60	–	25,5	25	19	12	11	6,5	1

Из таблицы видно, как меняется массовое содержание различных минералов в концентратах по мере увеличения времени измельчения. При флотации на флотомашине с ВРПА после измельчения в течение 20 минут в концентрате превалирует пирит, массовая доля остальных минеральных компонентов минимальна. При увеличении времени измельчения доля пирита в концентрате уменьшается, а всех остальных компонентов минералогического состава увеличивается, за исключением кальцита, который несколько больше виден при флотации после 40-минутного измельчения руды. Содержание магнезита оказалось ниже порога чувствительности метода.

Надо отметить, что максимальное извлечение золота достигнуто при флотировании на ВРПА после 40-минутного измельчения. Именно этот режим измельчения и флотации позволил увеличить извлечение на 2,49 %, а суммарное содержание золота – на 2,40 % по сравнению с контрольным опытом на стандартной установке с лопастным аэратором (ЛА).

В хвостах картина изменения массовой доли минеральных компонентов существенно меняется. Пирит практически не проявлен ни при одном из режимов измельчения (20, 40, 60), т.е. весь, или почти весь, находится в концентрате, полученном при флотации после измельчения в течение 20 минут. Доломит, в пределах погрешности метода, имеет почти равный массовый вклад при всех трех режимах измельчения, с незначительным уменьшением при измельчении в течение 40 минут. Хлорит закономерно уменьшается, слюда – другой глинистый минерал – имеет наибольший массовый вклад в опыте с 40-минутным измельчением. Кварц, магнезит и кальцит – максимально аккумулированы в образце хвостов при 60-минутном измельчении. Основными фазами в образце № 689 (20 мин.) являются хлорит и доломит.

В целом в хвостах отмечается большее разнообразие поведения минералов. В ряде случаев аккумуляция минералов отмечена при измельчении в течение тех же 40 мин. (плагиоклаз, слюда).

Таким образом, технология обработки влияет на состав продуктов обогащения.

Изучение особенностей тонкой кристаллической структуры минералов. Расчет размеров кристаллитов (D , Å) и дефектов структуры (ε) минералов (микроискажения) проведен для рефлекса пирита 200 с межплоскостным расстоянием $d = 2,7$ Å и представлен в таблице 3. При вычислении параметров методом Фурье-анализа и по интегральной ширине линий использована программа Win-Fit.

Таблица 3 – Размеры блоков и микроискажения кристаллической решетки пирита в Au-концентратах

№ обр.	Длительность измельчения, мин	hkl	Измеренные значения	
			D , Å	ε
686 (Au – концентрат)	20	200	1977	0,00062
690 (Au – концентрат)	40	200	2186	0,00029
694 (Au – концентрат)	60	200	2064	0,00045

Соответствие измеренного и расчетного профиля рефлекса проведено с использованием функции аппроксимации – Pearson VII (рисунок 3).

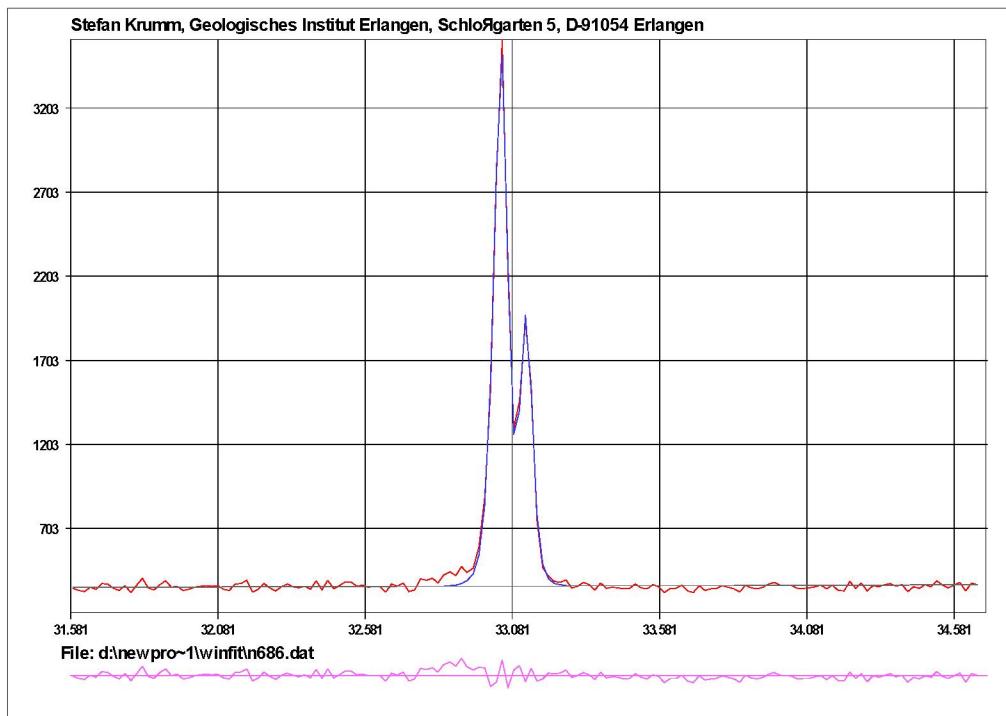


Рисунок 3 – Сопоставление профилей дифракционного рефлекса пирита из обр. №686.
Измеренный (красный) и расчетный (синий) профили дифракционного рефлекса 200 пирита (2,70 Å),
функция аппроксимации – Pearson VII.
Разность интенсивностей измеренного и расчетного рефлексов (розовый)

По данным дифрактограмм были рассчитаны параметры элементарной ячейки пирита в Au – концентратах (таблица 4).

Вычисленные размеры блоков когерентного рассеяния и микроискажения кристаллической решетки, определенные по рефлексу 002 хлорита в хвостах флотации, показаны в таблице 5.

Таблица 4 – Параметры кристаллической ячейки пирита в Au – концентратах

№ обр.	Длительность измельчения, мин	$a, \text{\AA}$	$V, \text{\AA}^3$
PDF № 71- 2219 [14]	–	5,417	
PDF № 71- 0053 [15]	–	5,428	
PDF № 42- 1340 [16]	–	5,416(3)	158,8(2)
686 (Au – концентрат)	20	5,418(3)	159,0(2)
690 (Au – концентрат)	40	5,418(3)	159,1(2)
694 (Au – концентрат)	60	5,419(3)	159,2(2)

Таблица 5 – Размеры блоков и микроискажения кристаллической решетки хлорита в хвостах флотации

№ обр.	Длительность измельчения, мин	hkl	Измеренные значения	
			$D, \text{\AA}$	ε
Обр. 689 (хвосты флотации)	20	101	1179	0,00391
Обр. 693 (хвосты флотации)	40	101	1341	0,00336
Обр. 697 (хвосты флотации)	60	101	1401	0,00327

Из таблиц видно, что происходит изменение размера блоков когерентного рассеяния (БКР) пирита для образцов концентратов с разным временем измельчения перед флотацией (с ВРПА). При 40-минутном измельчении наблюдается максимальное значение БКР (обр.690) и минимальное значение микроискажений (ε). Изменение параметра решетки a и объема элементарной ячейки V в этих образцах имеют слабую тенденцию к увеличению с возрастанием времени измельчения.

В хвостах размер кристаллитов, т.е. D , с увеличением времени измельчения закономерно возрастает, а микроискажений (ε) – напротив, уменьшается.

В этих результатах наиболее важен сам факт реагирования параметров тонкой кристаллической структуры на возрастание времени измельчения перед флотацией на флотомашине с ВРПА.

Для усиления статистической значимости полученных результатов была определена зависимость тех же параметров от времени измельчения на месторождении Архарлы.

Месторождение Архарлы. Проведено изучение особенностей флотационного поведения в аппарате с ВРПА золотых частиц разного размера руды месторождения в условиях пульсационной флотации объемом камеры 18 литров.

На отработанном флотационном и аэродинамическом режиме проведены флотационные исследования по изучению поведения золотых частиц разного размера, полученных при различном времени измельчения руды перед флотацией 20-40-60 и 90 минут.

Аэрогидродинамический и реагентный режимы во всех опытах при этом составляли: диаметр пульпозаборных отверстий в статоре 20 мм; частота вращения ротора 900 об/мин; объем воздуха в камере при этом составлял 0,422 дм³/с; при объеме подаваемого воздуха 0,166 дм³/с, т.е. количество выделяемого из раствора воздуха составляло 0,256 дм³/с; расход ксантофената на основную и контрольную флотации по 58 г/т руды; расход вспенивателя Т-92 на основную флотацию 84 г/т руды; в контрольную – 58 г/т руды.

Сравнительные результаты флотации при различном времени измельчения руды перед обогащением во флотационной машине объемом 18 литров с ВРПА показали, что:

- при измельчении в течении 20 минут суммарное извлечение золота в концентраты составило 61,5%, серебра 22,74% при содержании золота – 173,54 г/т руды, серебра 326,2 г/т руды;

- при измельчении руды в течении 40 минут извлечение золота получено 73,55%, серебра 24,5%, содержание золота составило 118 г/т руды, серебра 198,26 г/т руды;

- при измельчении руды в течении 60 минут извлечение золота получено 86,8%, серебра 42,55% при содержании золота 82,67 г/т руды, серебра 194,27 г/т руды

- при измельчении руды в течении 90 минут извлечение золота получено 73,10%, серебра 33,59% при содержании золота 39,25 г/т руды, серебра 97,83 г/т руды.

Таблица 6 – Результаты сравнительных флотационных опытов на стандартной флотомашине объемом камеры 3 литра и флотомашине с ВРПА, объемом камеры 18 литров месторождения Архарлы

Наименование операций	Выход, %	Содержание, г/т		Извлечение, %	
		золото	серебро	золото	серебро
Опыт № 20, измельчение 20 минут					
Концентрат основной флотации	0,26	467,22	647,83	46,3	12,63
Концентрат контрольной флотации	0,67	59,6	201,37	15,2	10,11
Σ концентрат основной и контрольной операций	0,93	173,54	362,2	61,5	22,74
Хвосты отвальные	99,07	1,02	10,40	38,5	77,26
Исходная руда	100,0	2,62	13,33	100,0	100,0
Опыт № 21, измельчение 40 минут					
Концентрат основной флотации	0,75	222,33	265,55	60,05	14,3
Концентрат контрольной флотации	0,97	37,33	146,2	13,05	10,2
Σ концентрат основной и контрольной операций	1,72	118,0	198,26	73,55	24,5
Хвосты отвальные	98,28	0,76	11,700	26,90	75,5
Исходная руда	100,0	2,77	13,92	100,0	100,0
Опыт № 23, измельчение 60 минут					
Концентрат основной флотации	1,57	148,5	273,97	83,37	32,04
Концентрат контрольной флотации	1,37	7,02	82,3	3,43	10,51
Σ концентрат основной и контрольной операций	2,94	82,57	194,27	86,80	42,55
Хвосты отвальные	97,06	0,	8,14	13,20	57,45
Исходная руда	100,0	2,82	13,68	100,0	100,0
Опыт № 24, измельчение 90 минут					
Концентрат основной флотации	3,40	51,0	101,25	64,58	23,64

Продолжение таблицы 6

Концентрат контрольной флотации	1,60	14,3	90,58	8,52	9,95
Σ концентрат основной и контрольной операций	5,40	39,25	97,83	73,10	33,59
Хвосты отвальные	95,0	0,76	11,18	26,90	66,41
Исходная руда	100,0	2,68	14,56	100,00	100,00

Таким образом, с увеличением времени измельчения извлечение благородных металлов при флотации на ВРПА резко повышается с 61,5% и 22,74% при 20 минутах, до 86,8% и 42,55% при 60 минутах золота и серебра соответственно, но при этом снижается качество концентратов золота с 173,54 до 82,57 г/т руды, серебра с 326,2 до 194,27 г/т руды.

При измельчении руды в течение 90 минут снизилось как извлечение золота до 73,10% и серебра до 33,59%, так и качество концентратов золота до 39,25 г/т руды, серебра 97,83 г/т руды.

Анализ представленных в таблице 6 данных показал, что оптимальными показателями флотации руды являются результаты, полученные при измельчении руды в течении 60 минут.

Рентгеновский анализ образцов руды и продуктов обогащения. Аналитические данные по полуколичественному рентгенофазовому анализу продуктов флотации месторождения Архарлы приведены в таблице 7.

Фазовый минералогический состав образцов этого месторождения существенно другой, поэтому картина распределения минералов в концентратах и хвостах в зависимости от времени измельчения для этого месторождения соответственно в целом другая.

Тем не менее, в концентратах заметно проявлены тенденции к увеличению содержания каолинита, кварца, калиевого полевого шпата при тех же 40 минутах измельчения, а в образцах хвостов флотации – соответственно содержится минимум этих минералов и кальцита при том же режиме измельчения.

Таблица 7 – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа руды и продуктов флотации месторождения Архарлы

Название и № обр.	Длительность измельчения, мин	Минеральный состав, мас.%								
		Пирит	Каолинит	КПШ	Кварц	Бассанит	Слюдя	Fe*	ПШ	Кальцит
734 (Au – концентрат)	20	7,7	15,4	2,0	43,0-	15,8	5,4	3,6		7,0
736 (хвосты флотации)	20	–	4,3	1,1	90,5	–	1,9	–		2,3
737 (Au – концентрат)	40	5,1	15,2	2,7	62,1	–	4,6	4,4		5,9
739 (хвосты флотации)	40	–	3,4	1,4	87,4		1,2	–	5,2	1,4-
740 (Au – концентрат)	60	4,3	11,1	2,0	57,9	11,9	3,5	2,7	2,1	4,4
742 (хвосты флотации)	60	–	3,9	1,5	90,0	–	1,4	–	1,7	1,5
Образец исходной руды месторождения Архарлы	–			2,4	92,7	2,6 гипс			2,1	0,2

* Примесь металлического железа связана с загрязнением твердых проб при измельчении.

Изучение особенностей тонкой кристаллической структуры минералов. Размер БКР и микрискажения для концентратов и хвостов кристаллической решетки кварца (рисунок 4) представлены в таблице 8.

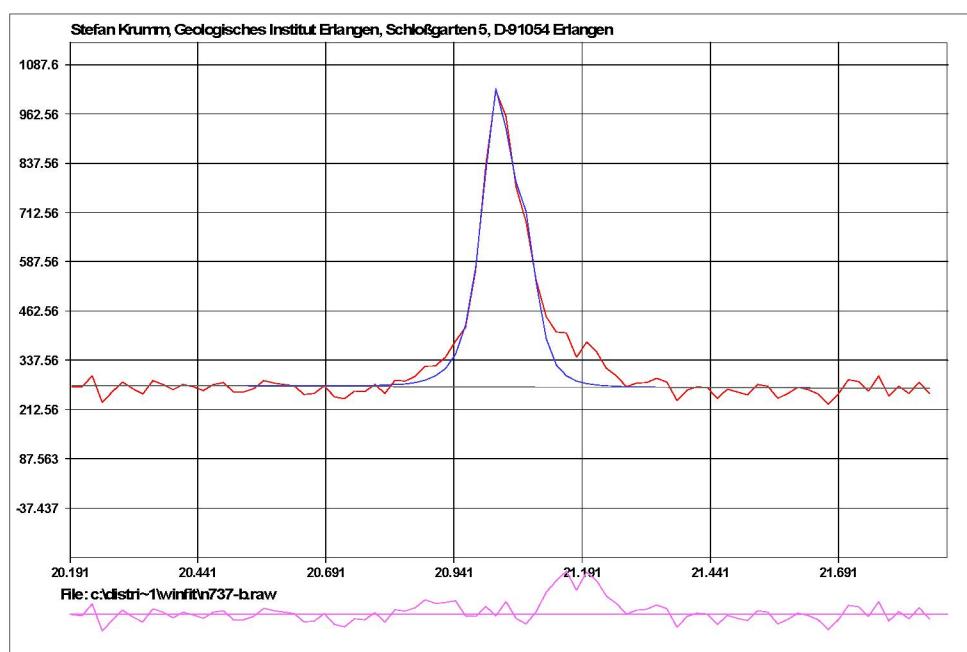


Рисунок 4 – Сопоставление профилей дифракционного рефлекса кварца из обр. №737.
Измеренный (красный) и расчетный (синий) профили дифракционного рефлекса 100 кварца ($4,25 \text{ \AA}$),
функция аппроксимации – Pearson VII.
Разность интенсивностей измеренного и расчетного рефлексов (розовый)

При увеличении времени измельчения размер блоков когерентного рассеяния в целом увеличивается и в концентратах и в хвостах флотации, а микрискажения – уменьшаются. Но при 40-минутном измельчении наблюдается скачки увеличения БКР и уменьшения микрискажений.

Таблица 8 – Размеры блоков когерентного рассеяния и микроискажения кристаллической решетки кварца

№ п/п	№ образца	Длительность измельчения, мин	<i>hkl</i>	Измеренные значения	
				<i>D</i> , Å*	<i>ε</i> *
1	Обр. 734 – золотосодержащий концентрат	20 мин	100	1130 1234	0,00121 0,00144
2	Обр. 736 – хвосты флотации	20 мин	100	1423 1103	0,00123 0,00114
3	Обр. 737 – золотосодержащий концентрат	40 мин	100	1682 1177	0,00097 0,00130
4	Обр. 739 – хвосты флотации	40 мин	100	1432 1254	0,00109 0,00116
5	Обр. 740 – золотосодержащий концентрат	60 мин	100	1435 1284	0,00124 0,00117
6	Обр. 742 – хвосты флотации	60 мин	100	1373 1352	0,00111 0,00116
7	Обр. руда, месторождение Архарлы	–	100	916 892	0,00184 0,00146

* Результаты двухкратных определений *D* и *ε* для контроля воспроизводимости измерений.

На примере образцов месторождения Архарлы с другой геологической обстановкой и лито-логоминералогическими составом по сравнению с Комаровским месторождением, еще раз подтвержден факт взаимосвязи между изменением одного из флотационных параметров обогащения (времени измельчения на пилотной флотационной установке с ВРПА) и тонкими структурными особенностями флотируемых минералов. Установленный факт подтверждает потенциальную возможность контроля за процессом флотации с помощью структурных характеристик минералов.

Работа выполнена в рамках грантового финансирования «Разработка технологоминералогических аспектов эксплуатации открываемых месторождений» НАТР РК №459.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Горелик С.С., Скаков Ю.А., Растворгус Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. Учебн. пособие для вузов – Изд. 4-е. – М.: МИСИС, 2002. – 360 с.
- 2 Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу. – М.: 1957.
- 3 Шишаков Н.А. Основные понятия структурного анализа. – М.: 1961. – 366 с.
- 4 Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: МГУ, 1976. – 32 с.
- 5 Уманский Я.С. Рентгенография металлов и полупроводников. – М.: Металлургия, 1969. – 496 с.
- 6 Турсынuly Е., Слюсарев А.П., Бекенова Г.К*, Ерёмин Ю.П. Определение размеров блоков когерентного рассеяния и микроискажений из анализа уширения линий дифрактограммы продуктов обогащения Au-руд Комаровского месторождения // Вестник КазНУ им. аль Фараби (в печати).
- 7 Русаков А.А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.
- 8 Панова Т.В., Блинов В.И., Ковивчак В.С. Определение внутренних напряжений в металлах. Омск. гос. ун-т, 2004. 20 с.
- 9 Krumm S. The program WinFit, 1997. (krumm@geol.uni-erlangen.de).
- 10 Руководство по рентгеновскому исследованию минералов. Под ред. Франк-Каменецкого В.А. – Л.: Недра, 1975. – 399 с.
- 11 Ушатинский И.Н., Килимник Б.К., Овчинников С.И. Рентгеноструктурный анализ глинистых минералов // Методика и результаты изучения минералогии глин продуктивных отложений Западно-Сибирской низменности в связи с их нефтегазоносностью. Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 35. Тюмень, 1970. С. 27 – 64.
- 12 Сейтимбетов А.М., Зарифов Р.А., Слюсарев А.П., Батраков А.Ю. Практическое использование автоматизированной системы сбора и обработки рентгенодифрактометрических данных минералов руд и технологических продуктов // Геология в XXI веке. Материалы международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения», посвященной 20-летию независимости Республики Казахстан. – Алматы, ИГН им. К.И.Сатпаева, 2011. – С. 296-302.
- 13 Сейтимбетов А.М., Собсарев А.П., Батраков А.Ю., Укибаев Ж.К., Бекенова Г.К. Изучение технологических продуктов руд Майкаинского месторождения на модернизированном рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 // Известия НАН РК. Серия геол. и техн. наук. – Алматы, – 2011. – № 5. – С. 61-68.

REFERENSES

- 1 Gorelik S.S., Skakov Ju.A., Rastorguev L.N. Rentgenograficheskij i elektronno-opticheskij analiz. Uchebn. posobie dlja vuzov – Izd. 4-e. M.: MISIS, 2002. 360 s.
- 2 Mirkin L.I. Spravochnik po rentgenostrukturnomu analizu. M., 1957.
- 3 Shishakov N.A. Osnovnye poniatija strukturnogo analiza. M.: 1961. 366 s.
- 4 Kovba L.M., Trunov V.K. Rentgenofazovyj analiz. M.: MGU, 1976. 32 s.
- 5 Umanskij Ja.S. Rentgenografija metallov i poluprovodnikov. M.: Metallurgija, 1969. 496 s.
- 6 Tursynuly E., Slyusarev A.P., Bekenova G.K*, Eremin Yu.P. Opredelenie razmerov blokov kogerentnogo rassejanija i mikroiskazhenij iz analiza ushirenija linij difraktogrammy produktov obogashchenija Au-rud Komarovskogo mestorozhdenija // Vestnik KazNU im. al' Farabi (v pechat).
- 7 Rusakov A.A. Rentgenografija metallov. M.: Atomizdat, 1977. 480 s.
- 8 Panova T.V., Blinov V.I., Kovivchak V.S. Opredelenie vnutrennih naprjazhenij v metallah. Omsk. gos. un-t, 2004. 20 s.
- 9 Krumm S. The program WinFit, 1997. (krumm@geol.uni-erlangen.de).
- 10 Rukovodstvo po rentgenovskomu issledovaniju mineralov. Pod red. Frank-Kameneckogo V.A., L.: Nedra, 1975. 399 s.
- 11 Ushatinskij I.N., Kilimnik B.K., Ovchinnikov S.I. Rentgenostrukturnyj analiz glinistykh mineralov // Metodika i rezul'taty izuchenija mineralogii glin produktivnyh otlozhenij Zapadno-Sibirskoj nizmennosti v svyazi s ih neftegazonosnost'ju. Tr. ZapSibNIGNI, vyp. 35. Tjumen', 1970. S. 27 – 64.
- 12 Seitimbetov A.M., Zarifov R.A., Slyusarev A.P., Batrakov A.Ju. Prakticheskoe ispol'zovanie avtomatizirovannoj sistemy sbora i obrabotki rentgenodifraktometricheskikh dannyh mineralov rud i tehnologicheskikh produktov // Geologija v HH veke. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Satpaevskie chtenija», posvyashchennoj 20-letiju nezavisimosti Respubliki Kazahstan. – Almaty, IGN im. K.I.Satpaeva, 2011. S. 296-302.
- 13 Seitimbetov A.M., Sobsarev A.P., Batrakov A.Ju., Ukiabaev Zh.K., Bekenova G.K. Izuchenie tehnologicheskikh produktov rud Majkainskogo mestorozhdenija na modernizirovannom rentgenovskom difraktometre DRON-4 // Iizvestija NAN RK. Serija geol. i tehn. nauk. – Almaty, 2011. № 5. С. 61-68.

Резюме

Г. К. Бекенова, Ю. П. Ерёмин, А. П. Слюсарев, С. Хайруллина, Н. Н. Чакиртова, Т. И. Малуева

(К. И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты, Алматы қ.)

**КОМАРОВ ЖӨНЕ АРҚАРЛЫ ЖҰҚАТЕҢБІЛДІ АЛТЫН КЕНОРЫНДАРЫН IPKTEMELІ
ФЛОТАЦИЯ КЕЗІНДЕ МИНЕРАЛДАРДЫҢ КРИСТАЛДЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ
ПАРАМЕТРЛЕРІН РЕНТГЕНДИРАКТОМЕТРЛІК БАҚЫЛАУ**

Алтын құрамы бар Комаров және Арқарлы кенорындарының флотацияланатын минералдарының жұқа кристалдық құрылымдарының сипаттамасы мен ЖРДА-лы (Жоғары жылдамдыкты ротациялық дірілді аэратор) пилотты флотациялық қондырығыдағы үлгіні ұсақтау уақыты арасындағы өзара байланыс рентген-құрылымдық талдау әдісінің көмегімен аныкталды. Бұл жұқатенбілді алтын құрамы бар кендерді байыту мен флотациялау процесін тексеру үшін технологиялық минералогияда қолданылу потенциалдық мүмкіндігін ұлғайтады.

Тірек сөздер: байыту мен флотациялау, жұқатенбілді алтын кендері, ұсақтау уақыты, технологиялық минералогия, минералдардардың кристалдық құрылымдарының параметрлері.

Summary

G. K. Bekenova, Yu. P. Eremin, A. P. Slyusarev, S. T. Khairullina, N. N. Chakirtova, T. I. Malueva

(Institute of Geological sciences of K. I. Satpaeva, Almaty)

**X-RAY DIFFRACTION CONTROL OF THE CRYSTAL STRUCTURE PARAMETERS OF MINERALS
AT THE SELECTIVE FLOTATION OF FINELY DISSEMINATED AU-ORE FROM KOMAROVSKOYE
AND ARKHARLY DEPOSITS**

A correlation between the time of sample grinding in a pilot flotation plant and the structural characteristics of minerals of Au-containing ores from Komarovskoye and Arkharly deposits with the use of X-ray analysis is revealed. The potential possibility of technological mineralogy for control of flotation enrichment of finely disseminated gold ores is demonstrated.

Keywords: enriching and flotation, finely disseminated Au-ore, grinding time, technological mineralogy, crystal structure parameters of minerals.

Поступила 23.11.2013 г.