

M.Z. Bitimbayev<sup>1</sup>, Y.P. Morozov<sup>2</sup>, I.H. Khamidullin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>"Kazakhmys Corporation" LLP, JSC "MMC "Kazakhalytn"

<sup>2</sup> FGBOU VO «Ural State Mining University" (Yekaterinburg, Russia)

mbitimbayev@mail.ru

## STUDY OF GOLD ACCUMULATION REGULARITIES IN CLOSED GRINDING CYCLES

**Abstract.** The peculiarity of gold ore processing is the accumulation of gold during grinding cycles of the circulating equipment. It has been shown that the use of roll grinders and advanced mode of hydrocyclone operation can effectively recycle high gold grades, resulting in extraction of rich gold concentrate.

**Key words:** water-shredding concentration, mechanism, grinding and classification units, indicators of gold concentration.

М.Ж. Битимбаев<sup>1</sup>, Ю.П. Морозов<sup>2</sup>, И.Х. Хамидулин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Эксперт ТОО «Корпорация Казахмыс», член совета директоров АО «ГМК Казахалтын»

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЗОЛОТА В ЗАМКНУТЫХ ЦИКЛАХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

**Аннотация.** Особенностью переработки золотосодержащих руд является накопление золота в циркулирующих продуктах циклов измельчения. Показано, что использование измельчения в валковом измельчителе и использование усовершенствованного режима работы гидроциклона позволяет эффективно перерабатывать богатые золотосодержащие продукты с получением золотосодержащих шлихов для аффинажа при высоком извлечении в них золота.

**Ключевые слова:** циркуляционно-измельчительная концентрация, механизм, аппараты измельчения и классификации, показатели концентрации золота.

В настоящее время в горной промышленности остро встала проблема повышения извлечения полезных компонентов из золотосодержащих руд и техногенных материалов. Для извлечения благородных металлов наиболее применимы гравитационные методы обогащения. Также внимание привлекает проблема извлечения тонкодисперсных частиц золота и частиц пластинчатой формы, которые плохо извлекаются существующими технологиями. При ее решении возникают новые задачи развития теории процессов обогащения, совершенствования технологий и аппаратурного оснащения процессов обогащения руд и техногенного сырья.

Особенностью переработки золотосодержащих руд является накопление золота в циркулирующих продуктах замкнутых циклов измельчения. В зависимости от крупности золотин в руде степень концентрации золота в замкнутых циклах измельчения в промышленных условиях при измельчении руды в шаровых мельницах находится в диапазоне от 2 до 8 и более [1]. Чем крупнее золото в руде, тем выше степень концентрации его в циркулирующих продуктах.

Накопление золота в циркулирующих продуктах циклов измельчения объясняется тем, что достаточно крупные частицы золота плохо измельчаются и не выходят в слив классифицирующего аппарата до тех пор, пока их крупность не снизится до размеров, при которых в соответствии с сепарационной характеристикой классифицирующего аппарата появляется возможность их выхода в слив.

Процесс накопления золота в циркулирующих продуктах зависит от эффективности классификации классифицирующего оборудования. Так, в гидроциклонах эффективность классификации составляет 55-60 %. Следовательно, 20-30 % частиц крупнее крупности разделения теряются со сливом гидроциклона.

Для обеспечения максимальных показателей накопления золота в циркуляционно-измельчительной концентрации необходимо снижать переизмельчение частиц золота и обеспечить высокую эффективность классификации.

Измельчение золотин существенно снижается при использовании измельчения методом раздавливания в валковых измельчителях или методом удара в центробежно-ударных мельницах.

Для повышения эффективности классификации нами предложено в циркуляционно-измельчительной концентрации устанавливать режим работы гидроциклона, при котором частицы золота заданной крупности не могут выходить в слив гидроциклона [1, 2, 3]. Для заданных условий определяется сепарационная характеристика гидроциклона при работе в открытом цикле. Пример такой сепарационной характеристики приведён на рис. 1.

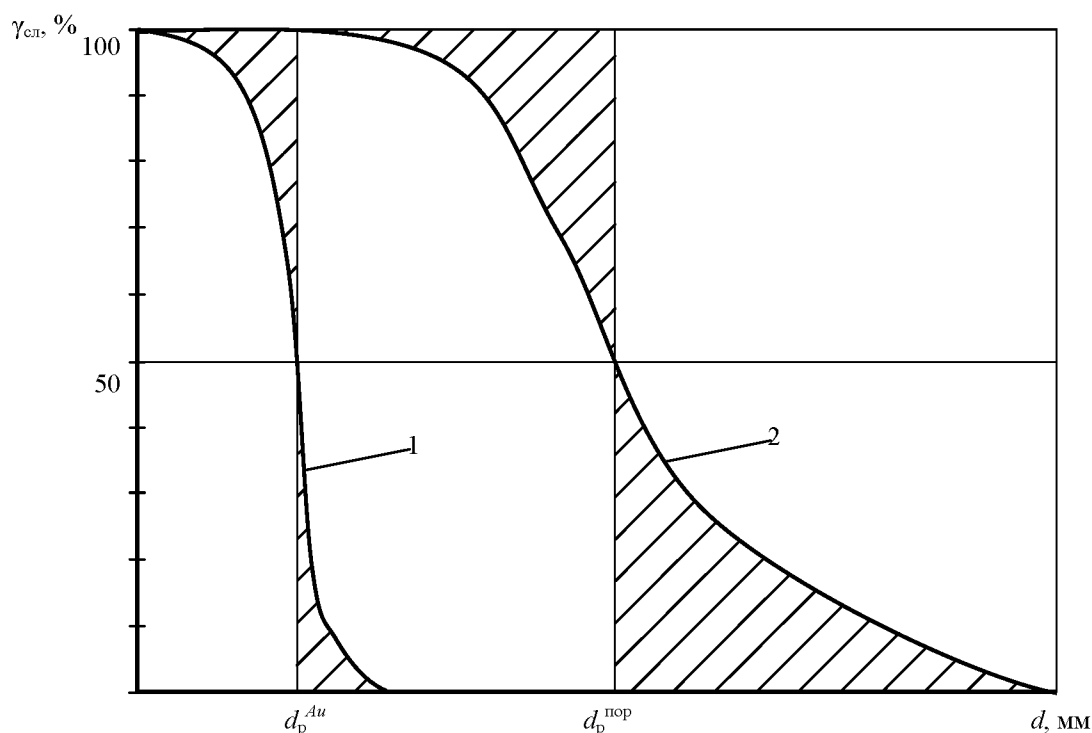


Рисунок 1 – Сепарационные характеристики по золоту (1) и по породе (2) при работе гидроциклона в открытом цикле:  $\gamma_{сл}$  – выход в слив;  $d$  – крупность частицы;  $d_p^{Au}$  – крупность разделения по золоту;  $d_p^{пор}$  – крупность разделения по породе

На полученной сепарационной характеристике заштрихованные участки показывают взаимозасорение слива и песков. Для исключения потерь частиц заданной крупности в слив гидроциклона, режим работы гидроциклона должен быть таким, чтобы крупность разделения по золоту была равной  $d_{рц}^{Au}$ . Тогда сепарационная характеристика приближается к идеальной, которая показана на рис. 2.

Для обеспечения минимальных потерь в слив золота крупностью более  $d_{рц}^{Au}$  необходимо выбрать гидроциклон и установить режим его работы при котором  $d_p^{Au} \approx 0,5d_{рц}^{Au}$ .

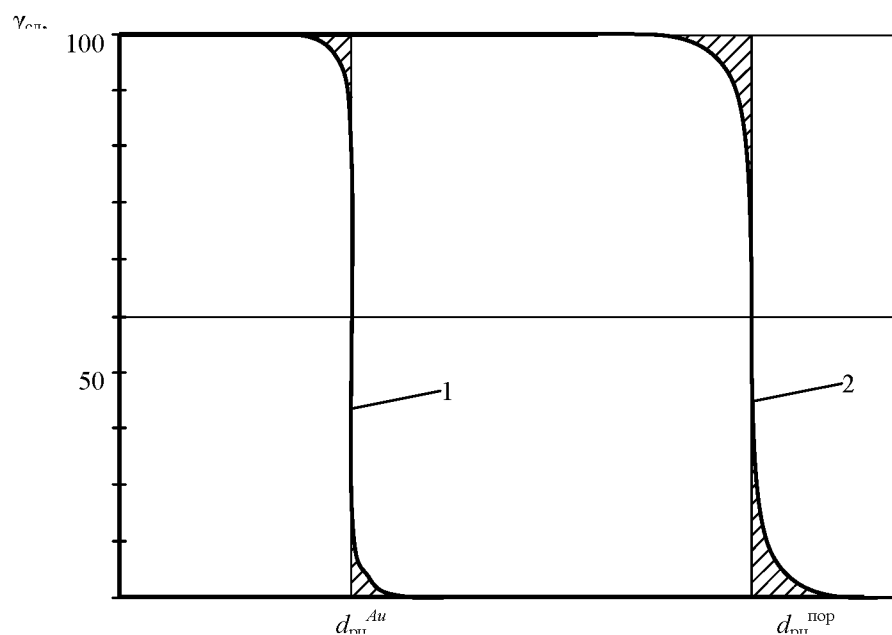


Рисунок 2 – Сепарационные характеристики по золоту (1) и по породе (2) при работе гидроциклона в режиме циркуляционной концентрации:

$\gamma_{от}$  – выход в слив;  $d$  – крупность частицы;  $d_{рп}^{Au}$  – крупность разделения по золоту;  
 $d_{рп}^{пop}$  – крупность разделения по породе

Нами выполнены исследования циркуляционно-измельчительной концентрации с использованием валкового измельчителя ИВ-100, разработанного в соответствии с [4]. Установка циркуляционного модуля состоит из гидроциклона, накопительного зумпфа, насоса. В установке использован гидроциклон диаметром 100 мм и углом конусности 32°. Диаметр загрузочного патрубка гидроциклона равен 19 мм, пескового – 5 мм. Ёмкость накопительного зумпфа составляет 15 л. Для подачи питания в гидроциклон использован центробежный насос БЦ-0,4-20-У11 «Агидель», производительностью до 3 м<sup>3</sup>/ч по воде [5].

Циркуляционно-измельчительной концентрации подвергался продукт обогащения золотосодержащего материала с массовой долей золота 0,16 %, крупностью 82 % класса плюс 0,1 мм.

Исходный материал в количестве 10 кг подвергали циркуляционно-измельчительной концентрации с отбором проб слива гидроциклона за каждые две минуты. Полученные дискретные пробы слива и конечные пески подвергнуты пробирному анализу. Результаты исследований после математической обработки приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1 – Результаты циркуляционно-измельчительной концентрации золотосодержащего продукта

Продолжительность концентрации, мин.	Наименование продукта	Показатели обогащения		
		Выход, %	Массовая доля золота, %	Извлечение золота, %
2	Пески гидроциклона 1	70,90	0,22	99,70
4	Пески гидроциклона 2	40,70	0,39	99,40
6	Пески гидроциклона 3	15,10	1,05	99,15
8	Пески гидроциклона 4	9,40	1,68	98,91
10	Пески гидроциклона 5	5,10	3,1	98,69
12	Пески гидроциклона 6	2,46	6,4	98,49
14	Пески гидроциклона 7	0,99	15,8	98,30
16	Пески гидроциклона 8	0,61	25,74	98,12
18	Пески гидроциклона 9	0,33	47,49	97,94
20	Пески гидроциклона 10	0,18	86,93	97,80
	Исходный продукт	100,00	0,16	100,00

Установлено, что циркуляционно-измельчительная концентрация, реализующая предложенные технические решения, позволяет эффективно обогащать богатые золотосодержащие продукты с получением шлихового золотосодержащего продукта с массовой долей золота более 86 % при извлечении в него золота 97,88 %.

В целом, циркуляционно-измельчительная концентрация является эффективным методом концентрации золота в циркулирующем продукте цикла измельчения и может быть рекомендована на последних стадиях доводки золотосодержащих продуктов при получении товарной продукции для аффинажа золота.

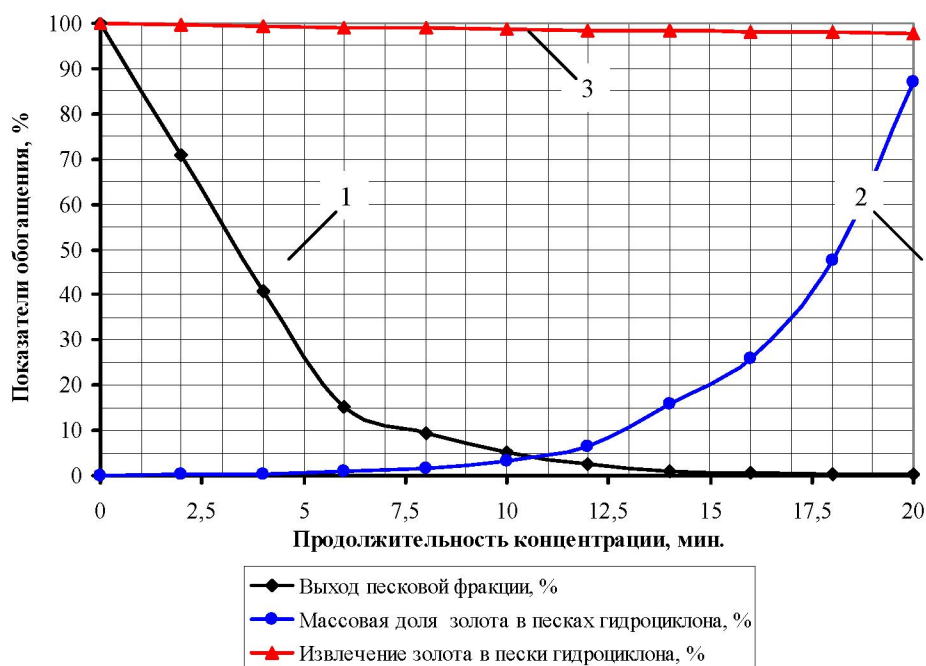


Рисунок 3 – Зависимости выхода песковой фракции (1), массовой доли золота (2) и извлечения золота (3) от продолжительности концентрации

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Морозов Ю.П. Теоретическое обоснование и разработка новых методов и аппаратов извлечения тонкодисперсных благородных металлов из руд техногенного сырья. Дисс... докт. техн. наук. Екатеринбург. – 2001. – 397 с.
- [2] Хамидулин И.Х. Развитие процесса циркуляционной концентрации. Магистерская диссертация. Екатеринбург. – 2006. – 73 стр.
- [3] Морозов Ю.П., Хамидулин И.Х., Фалей Е.А., Черкасов В.Ю. Накопительные технологии гравитационного извлечения золота при обогащении сульфидных руд // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 7. С. 102-106.
- [4] Патент № 2132233 (РФ). Валковый измельчитель /Морозов Ю.П., Афанасьев А.И., Тимофеев Н.И. и др. //Заявл. 20.10.97. - № 97117203/03. Оpubл. 27.06.99. – Бюлл. № 18.
- [5] Хамидулин И.Х., Комлев С.Г., Морозов Ю.П. Обогащение техногенных продуктов циркуляционной концентрацией // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 7. С. 106–109.
- [6] Авторское свидетельство № 54220 (РК). Установка для извлечения золота из упорных сульфидных руд / Битимбаев М.Ж., Джумабаев Е.И., Мейрамкулов М.Х.
- [7] Битимбаев М.Ж., Чернецов Г.Е. и др. Теоретическая основа применения ультразвука для интенсификации выщелачивания, сорбции и десорбции металлов // Сборник трудов ИГ Д им. Д.А. Кунаева, т.67. – Алматы, 2008.

#### REFERENCES

- [1] Morozov Ju.P. Teoreticheskoe obosnovanie i razrabotka novyh metodov i apparatov izvlechenija tonkodispersnyh blagorodnyh metallov iz rud tehnogenogo syr'ja. Diss... dokt. tehn. nauk. Ekaterinburg. – 2001. – 397 s.
- [2] Hamidulin I.H. Razvitie processa cirkuljacionnoj koncentracii. Magisterskaja dissertacija. Ekaterinburg. – 2006. – 73 str.
- [3] Morozov Ju.P., Hamidulin I.H., Falej E.A., Cherkasov V.Ju. Nakopitel'nye tehnologii gravitacionnogo izvlechenija zlota pri obogashhenii sulfidnyh rud // Izhvestija vuzov. Gornyj zhurnal. 2013. № 7. S. 102-106.
- [4] Patent № 2132233 (RF). Valkovyy izmel'chitel' /Morozov Ju.P., Afanas'ev A.I., Timofeev N.I. i dr. //Zajavl. 20.10.97. - № 97117203/03. Opubl. 27.06.99. – Bjull. № 18.

[5] Hamidulin I.H., Komlev S.G., Morozov Ju.P. Obogashenie tehnogennyh produktov cirkuljacionnoj koncentraciej // Izv. vuzov. Gornyj zhurnal. 2015. № 7. S. 106–109.

[6] Avtorskoe svidetel'stvo № 54220 (RK). Ustanovka dlja izvlechenija zolota iz upomnyh sul'fidnyh rud / Bitimbaev M.Zh., Dzhumabaev E.I., Mejramkulov M.H.

[7] Bitimbaev M.Zh., Chernecov G.E. i dr. Teoreticheskaja osnova primenenija ul'trazvuka dlja intensivirovanija vyshhelachivanija, sorbcii i desorbtcii metallov // Sbornik trudov IGD im. D.A. Kunaeva, t.67. – Almaty, 2008.

**М.Ж. Бітімбаев, Ю.П. Морозов, И.Х. Хамидуллин**

**ЖАБЫҚ ҰСАҚТАУ ЦИКЛДА АЛТЫННЫҢ  
ЖИНАЛУЫНЫҢ ЗАҢДЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ**

**Аннотация.** Алтын кендерді өндеудің ерекше айырмашылығы алтынның ұсақтауда айналатын цикл кезінде өнімде жиналып қалуы. Валдық ұсақтау кезінде және жұмыс режимін жетілдірген кезде гидроциклонның жұмысы тиімді түрде алтын кенді өнімді қайта өңдеп, алтын кенді шликтарды аффинажға өте жоғарғы ұсақтауда алтынды жинайтындығы көрсетілген.

**Түйін сөздер:** циркуляциялы-ұсақтау концентрациясы, механизм, ұсақтау және ласификациялау құрылғылары.

**Сведения об авторах:**

Бітімбаев М.Ж. – эксперт ТОО «Корпорация Казахмыс», член Совета директоров АО «ГМК «Казахалтын»;  
Морозов Ю.П. – ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» (г. Екатеринбург, Россия), проф. кафедры обогащения;  
Хамидуллин И.Х. – ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», инженер.