

**В.П. НАДУТЫЙ**, д-р техн. наук,**В.В. ЧЕЛЫШКИНА, Е.З. МАЛАНЧУК**, кандидаты техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины)

**АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ САМОРОДНОЙ МЕДИ В ПРОДУКТАХ ДРОБЛЕНИЯ ЛАВОБРЕКЧИИ БАЗАЛЬТОВОГО КАРЬЕРА**

Основными составляющими базальтовых месторождений Волынского Полесья, таких как Жиричи, Рафаловское, Шменьки-Залесы и др., являются базальт, лавобрекчия и туф. В настоящее время при карьерной добыче извлекается только базальт для строительства, а туф и лавобрекчия складированы в отвалы. Вместе с тем, все три указанные породы имеют высокое содержание самородной меди, титаномагнетита и платиноидов, содержание которых соответствует нормам промышленно перерабатываемых руд, поэтому актуальна разработка комплексной технологии переработки базальтового сырья [1, 2]. В этом аспекте данная статья касается процесса дробления лавобрекчии.

Целью исследований являлось установление зависимостей для выхода продуктов дробления лавобрекчии в валковой дробилке (после первичного дробления в щековой дробилке) и определение аналитических зависимостей распределения таких показателей, как содержание и извлечение самородной меди в узкие классы крупности.

Для исследований было отобрано 10 проб базальтовой лавобрекчии (Рафаловский базальтовый карьер, Ровенская обл.) по 10 кг в каждой пробе. Грансостав каждой исходной пробы соответствовал разгрузке щековой дробилки первичного дробления. Пробы подвергались мелкому дроблению на валковой дробилке в режиме измельчения и затем классифицировались на шесть классов крупности +10; -10+5,0; -5+1,0; -1,0+0,5; -0,5+0,1; -0,1+0,05 мм, весовое количество меди в каждом классе определялось по данным рентгенографического фазового анализа (табл. 1).

Таблица 1

Исходные экспериментальные данные для определения выхода классов и содержания меди в классах крупности дробления

Классы крупности, мм	Проба №1		Проба №2		Проба №3		Проба №4		Проба №5	
	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг
+10	1,5	33,5	1,5	20,1	2,0	16,5	1,5	12,4	2,0	10,5
-10+5	1,0	40,5	1,5	37,9	2,0	28,4	2,0	16,2	1,0	8,2
-5+1,0	2,5	45,1	1,5	30,5	1,5	24,1	2,5	22,3	2,0	10,5
-1,0+0,5	1,0	25,6	2,0	19,5	1,0	12,4	2,0	13,2	3,0	11,1
-0,5+0,1	2,5	15,1	1,5	15,0	1,5	8,1	1,0	7,3	1,5	6,4
-0,1+0,05	1,5	10,2	2,0	14,0	2,0	6,4	1,0	7,6	1,5	5,8
Всего	10,0	170,0	10,0	137,0	10,0	95,9	10,0	79,0	11,0	52,5

## Підготовчі процеси збагачення

*Продолжение таблицы 1*

Классы крупности, мм	Проба №6		Проба №7		Проба №8		Проба №9		Проба №10	
	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг	Вес класса, кг	Вес меди в классе, *10 <sup>-3</sup> кг
+10	2,0	12,2	2,0	41,8	2,0	27,1	1,0	38,1	2,5	10,2
-10+5	3,0	15,3	2,0	45,1	2,0	32,4	1,5	50,0	3,0	12,0
-5+1,0	2,0	5,4	2,0	36,7	2,5	22,3	2,0	40,1	3,0	11,1
-1,0+0,5	3,0	7,6	1,0	9,1	1,5	16,1	3,0	28,4	0,5	5,7
-0,5+0,1	–	6,5	1,5	6,2	1,0	8,4	2,5	12,3	0,5	4,0
-0,1+0,05	–	–	1,5	5,1	1,0	5,0	0,5	4,1	0,5	3,0
Всего	10,0	47,0	10,0	144,0	10,0	111,3	10,5	173,0	10,0	46,0

Естественным для подобных исследований является предположение о подчинении показателей (весового выхода породы и меди в класс) нормальному закону распределения. Для проверки этого положения применяют критерии согласия Пирсона, Колмогорова, Шапиро-Уилки,  $\omega^2$  и другие. Однако большинство критериев пригодны лишь для средних и больших выборок. В нашем случае выборка малая ( $n=10$ ), поэтому для приближенной проверки гипотезы о нормализации распределения были использованы выборочные асимметрия и эксцесс [3]. При этом выборочные значения асимметрии и эксцесса сравнивали со средними квадратическими отклонениями асимметрии и эксцесса и по результатам сравнения судили о согласии с нормальным законом распределения. В результате расчетов получено, что для лишь двух классов крупности эксцесс имеет отклонение от критического (среднеквадратичного) значения, но его можно считать незначительным. Таким образом, можно утверждать, что показатели выхода породы согласуются с нормальным законом распределения. Этот закон распределения является симметричным относительно математического ожидания, следовательно, обобщающей характеристикой выхода породы и меди в класс является ее среднее значение.

Учитывая это, по данным табл. 1 выполнены расчеты средних по 10 опытам значений выхода породы в класс и величин содержания и извлечения меди для каждого класса (табл. 2).

*Таблица 2*

Средние показатели продуктов дробления лавобрекчии

Класс крупности, мм	Средний вес по 10 опытам		Выход %		Содержание меди, %	Извлечение меди, %	
	класса, кг	меди в классе, г	абс.	суммарный		абс.	суммарно
+10	1,80	22,2	18,0	18,0	1,24	21,1	21,1
-10+5,0	1,90	28,6	19,0	37,0	1,51	27,1	48,2
-5+1,0	2,05	24,8	20,5	57,5	1,21	23,5	71,7
-1,0+0,5	1,75	14,9	17,5	75,0	0,85	14,1	85,7
-0,5+0,1	1,35	8,9	13,5	88,5	0,66	8,5	94,2
-0,1+0,05	1,15	6,1	11,5	100,0	0,53	5,8	100,0
Итого	10,00	105,6	100,0		1,06	100,0	

## Підготовчі процеси збагачення

Как видно из табл. 2, все классы крупности от 10 мм до плюс 0,05 мм имеют кондиционное содержание меди (норма: от 0,35-0,5% Cu для сульфидных медных руд и от 0,7-1,0 % Cu для окисленных). Наиболее богатыми являются классы 10– 1,0 мм, что указывает на возможность использования предварительной рудосортировки. Например, на зарубежных фабриках для автоматической сортировки самородных руд применяются электросепараторы фирмы "Ganson's Sorters" (Великобритания) и "Ore Sorter" (США), которые работают на указанной крупности.

Для определения зависимостей распределения выхода, содержания и извлечения меди по классам крупности использовался метод парных корреляций. При этом с использованием программы Microsoft Office Excel строились аппроксимирующие зависимости, причем из 6 возможных зависимостей выбиралась одна, исходя из условий максимального значения коэффициента достоверности аппроксимации –  $R^2$  и наличия физического смысла у выбранной зависимости. Крупность узкого класса крупности задавалась как среднеарифметическое граничных значений, поскольку такой подход является наиболее широко распространенным [4].

На рис. 1 приведена зависимость выхода породы от крупности (кумулятивная, либо суммарная или накопительная ситовая характеристика продуктов дробления).

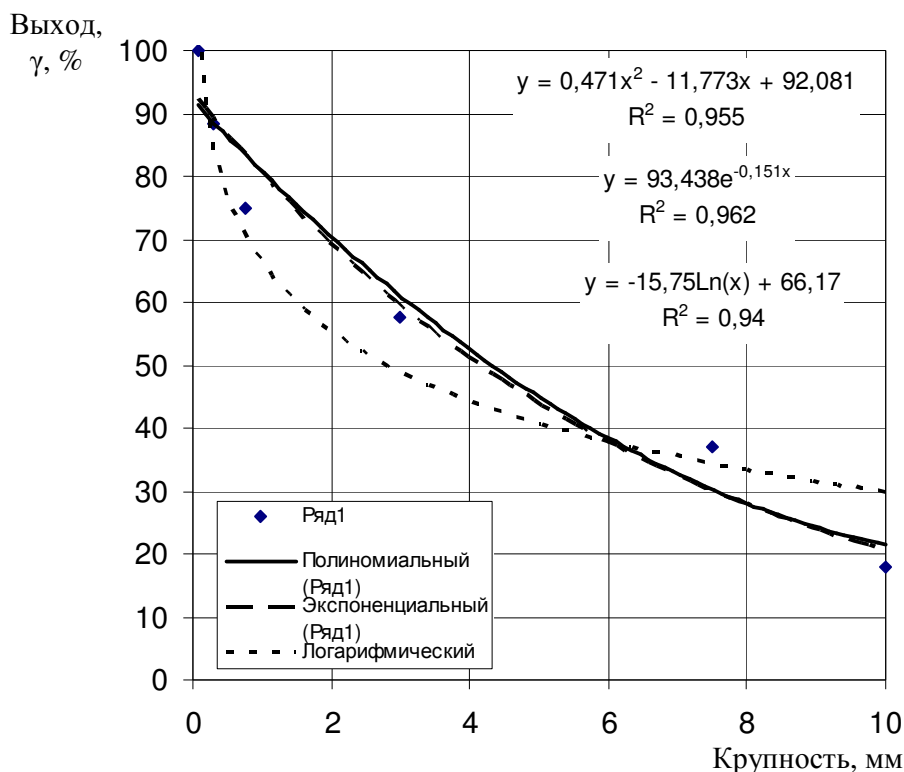


Рис. 1. Распределение крупности частиц в продукте дробления лавобрекчии в валковой дробилке (кумулятивная ситовая характеристика)

## Підготовчі процеси збагачення

Как видно из рис. 1, самый низкий коэффициент корреляции  $R^2$  имеет логарифмическая зависимость, а полиномиальная, второй степени, и экспоненциальная имеют примерно одинаковую точность и равноправно могут использоваться для описания процесса дробления и определения выхода классов заданной крупности. С учетом этого, а также исходя из простоты расчетов, рекомендована параболическая зависимость для распределения выхода дробленой массы породы по крупности, которая имеет вид:

$$\gamma = 0,47 x^2 - 11,77 x + 92,08, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – выход класса, %;  $x$  – крупность, мм.

Коэффициент  $R^2 = 0,955$ , что говорит о высоком уровне адекватности этой модели.

На рис. 2 приведена зависимость изменения содержания меди в узких классах крупности дробленого продукта.

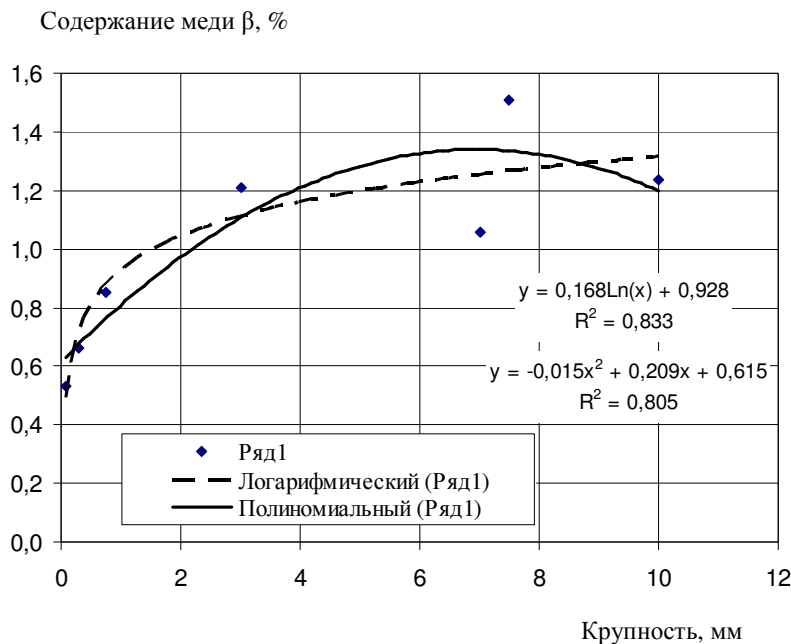


Рис. 2. Распределение самородной меди в узких классах продукта дробления

Из рис. 2 видно, что распределение содержания меди в классах наиболее приемлемо описывается логарифмической зависимостью:

$$\beta = 0,168 \ln(x) + 0,928; R^2=0,833, \quad (2)$$

где  $\beta$  – содержание меди %,  $x$  – крупность, мм.

Относительно невысокое значение  $R^2$  вызвано большим разбросом содержания меди в крупных классах – 2,5 +10 мм.

На рис. 3 приведен показатель извлечения меди в узкие классы крупности: абсолютный (рис. 3,а) и кумулятивный или суммарный (рис. 3, б).

## Підготовчі процеси збагачення

Как видно из рис. 3,а имеет место стабильно высокое извлечение меди в крупных классах (около 20%), что указывает на наличие относительно крупных самородных образований, для мелких классов извлечение снижается.

Распределение кумулятивного извлечения меди (рис. 3,б) описывается полиномом второй степени:

$$\varepsilon = -0,06 x^2 - 11,77 x + 92,08; R^2 = 0,96. \quad (3)$$

Значительная величина квадрата коэффициента корреляции  $R^2 = 0,96$  свидетельствует о высокой степени адекватности данной модели.

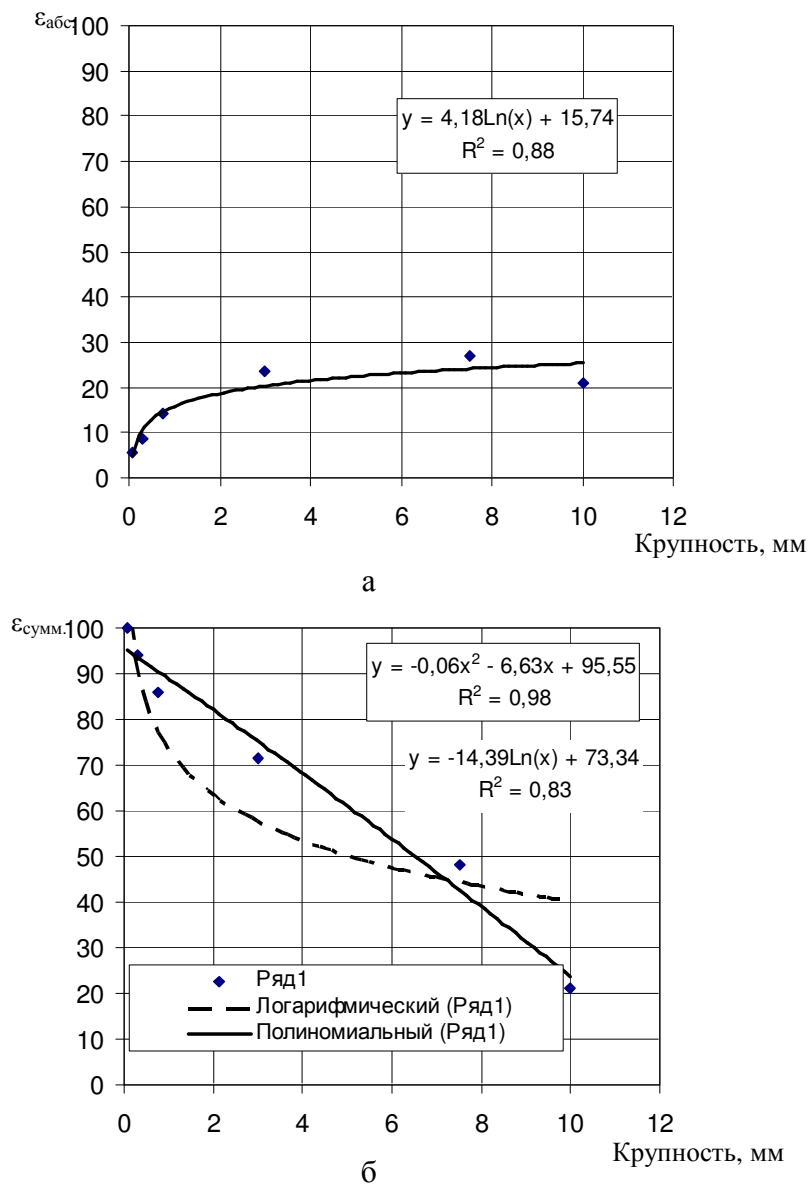


Рис. 3. Извлечение меди ( $\varepsilon$ ) в классы крупности дробленой лавобрекчии  
а – абсолютное,  $\varepsilon_{абс}$ ; б – кумулятивное (суммарное),  $\varepsilon_{сумм}$ .

### *Выводы*

Таким образом, получены аналитические зависимости (1)-(3), которые позволяют прогнозировать технологические характеристики – выход, содержание и извлечение меди для процесса дробления лавобрекчии в валковой дробилке (после первичного дробления в щековой дробилке).

Наиболее богатыми медью являются относительно крупные классы -10+1,0 мм, что указывает на возможность предварительной рудосортировки с использованием электросепарации. Известно, что для питания валковых электросепараторов приемлема крупность до 0,1 мм, для электрокоронных сепараторов – до 0,05 мм, можно использовать зарубежные сортирующие электросепараторы фирмы " Ganson's Sorters" (Великобритания) и " Ore Sorter" (США), работающие на указанной крупности.

### **Список литературы**

1. Булаг А.Ф., Надутый В.П., Маланчук З.Р. Перспективы комплексной переработки базальтового сырья Волыни // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. – 2010. – Вып. 85. – С. 3-7.
2. Самородное железо из базальтов Волыни (Украина) [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://old.geo.komisc.ru/public/collect/2006/theory/pdf/c.122-123>
3. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. – М.: Статистика, 1978. – 248 с.
4. Справочник по обогащению руд / Под ред. О.С. Богданова, В. И. Ревнивцева и др. – М.: Недра, 1983. – Т.1. – С. 22.

© Надутый В.П., Челышкина В.В., Маланчук Е.З., 2014

*Надійшла до редколегії 19.03.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. Б.О. Блюссом*