

**В.П. НАДУТЫЙ**, д-р техн. наук,

**А.М. ЭРПЕРТ**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет),

**Е.З. МАЛАНЧУК**

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

### ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ СОСТАВЛЯЮЩИХ БАЗАЛЬТОВОГО СЫРЬЯ

Объектом исследований являлись базальты Волыни, поскольку здесь ведется их интенсивная карьерная разработка. Внимание исследователей привлекает уникальный состав базальтов и возможность их более рационального использования. В настоящее время базальт используется в основном как строительный материал в виде щебня, в небольших количествах – для производства теплоизоляционной ваты. Однако исследования, выполненные геологами, учеными различных организаций, показали [1-4], что базальт является ценным минеральным сырьем и требует комплексной переработки для извлечения полезных компонентов, содержащихся в количествах, представляющих промышленный интерес, и технологическую возможность их извлечения. Наличие примесей в массиве базальта в виде лавобрекчий и туфов не снижает актуальности и ценности идеи комплексной переработки, поскольку эти ингредиенты в своем составе содержат те же полезные компоненты, что и базальт. Основными из них являются самородная медь, железо и титан [4]. Более глубокие исследования показали, что в них содержатся окислы меди, редкие и ценные металлы, извлечение которых требует более тонких технологий.

Предметом исследований авторов являлось определение степени магнитной восприимчивости всех трех составляющих базальтового сырья Рафаловского базальтового карьера – базальта, туфа и лавобрекчий.

Ранее [4] было установлено, что эти три составляющие содержат более 40% железа и 4% титана. В экспериментах для их извлечения использовались стандартные методы рудоподготовки перед магнитной сепарацией исходного сырья – дробление, измельчение и грохочение. Исследовались наиболее эффективные классы крупности для магнитной сепарации (-2,5+0,63 мм) и (-0,63+0,1 мм). Результаты зависимости извлечения магнитновосприимчивой части от величины индукции магнитного поля для туфа, базальта и брекчии представлены в табл. 1.

В экспериментах каждый из вышеназванных видов горной массы представлен одинаковой навеской в 645 г, в которой содержатся оба класса крупности и силикатная часть. Напряженность магнитного поля изменялась в диапазоне 0-1,3 Тл.

Для обобщения полученных результатов выполнен их регрессионный анализ. Для этого по исходным экспериментальным данным выполнены расчеты функции распределения. В качестве иллюстрирования процесса ее определения

## Магнітна і електрична сепарація

приведен пример определения функции распределения для туфа (класс крупности -2,5+0,63 мм). Схема расчета функции распределения представлена в табл. 2. Функция распределения  $q_i$  вычисляется по формуле

$$q_i = \frac{y_i}{y_z} \cdot 100 \% ,$$

где  $y_i$  – выход магнитного продукта при определенной индукции;  $y_z$  – суммарный выход магнитного продукта в пробе.

Таблица 1

Зависимость составляющих базальтового сырья от напряженности магнитного поля (в теслах) по двум классам крупности продукта рудоподготовки

№ опыта	Индукция, Тл	Туф		Базальт		Брекчия	
		+0,63-2,5 мм	+0,1-0,63 мм	+0,63-2,5 мм	+0,1-0,63 мм	+0,63-2,5 мм	+0,1-0,63 мм
1	0,08	63,2	30,5	73,6	29,0	51,3	21,0
2	0,16	59,5	37,0	76,4	35,5	60,5	26,2
3	0,3	51,7	37,7	68,0	40,5	64,4	31,6
4	0,44	49,7	31,9	63,5	38,5	68,5	36,4
5	0,58	44,8	32,5	60,5	30,4	63,1	28,5
6	1,3	6,2	5,8	10,6	7,6	20,2	12,9
7	не магнитн.	56,4	33,4	29,4	18,5	36,2	21,4
8	2	331,4	208,9	380,0	200,0	364,2	178,0
Сумма в каждой навеске пробы, г		331,4+208,9+104,5-645 (г)		380,0+200,0+65,0-645 (г)		364,2+178,0+102,8-645 (г)	

Таблица 2

Результаты расчета функции распределения

№ п/п	Индукция у, тесла	Выход у, Z	Выход накопленным итогом у, Г	Функция распределения, q, %
1	0	56,4	56,4	-
2	0,08	63,2	119,6	36,08
3	0,16	59,5	179,1	54,03
4	0,3	51,7	230,8	69,62
5	0,44	49,7	280,5	84,62
6	0,58	44,8	325,3	98,13
7	1,3	6,2	331,5	100,00

Из приведенных результатов видно, что более 98% материала извлекается при напряженности магнитного поля до 0,58 тесла и только менее 2% – при более высокой напряженности. Из данных, приведенных в табл. 1, видно, что при напряженности 0,58 Тл изменение выхода достаточно хорошо согласуется с линейной функцией. После чего наблюдается резкий перелом. В связи с этим полиномиальные функции не подходят для аппроксимации зависимости. Наибо-

## **Магнітна і електрична сепарація**

лее эффективной моделью является логарифмическая, однако она работает только в диапазоне 0-0,9 Тл. При более высоких значениях аргумента логика модели нарушается.

Аналитическая модель функции распределения была задана в виде

$$\hat{q} = a + b \cdot \ln(x), \%$$

где  $x$  – индукция;  $q$  – выход продукта в накопленном итоге, %.

Результаты расчета функции распределения для туфа графически представлены на рис. 1, а.

Статистическая модель для класса крупности (-2,5+0,63 мм):

$$\hat{q} = 101,13 + 24,61 \cdot \ln(x);$$

коэффициент корреляции признаков  $P_z = 0,97$ ; статистика Фишера для модели  $F = 142,7$ ; статистика Стьюдента для коэффициентов регрессии  $t_a = 44,14$ ;  $t_b = 11,95$ . Статистическая модель для класса крупности (-0,63+0,1 мм):

$$\hat{q} = 101,78 + 26,94 \cdot \ln(x);$$

коэффициент корреляции признаков  $P_z = 0,975$ ; статистика Фишера для модели  $F = 157,12$ ; статистика Стьюдента для коэффициентов регрессии  $t_a = 42,15$ ;  $t_b = 12,53$ .

Приведенные данные свидетельствуют о достаточно плотной корреляционной связи признаков, высокой адекватности модели и высокой значимости коэффициентов регрессии.

Результаты расчета функции распределения для базальта графически представлены на рис. 1, б. При этом получены статистические модели:

– для класса крупности (-2,5+0,63 мм):

$$\hat{q} = 100,9 + 28,13 \cdot \ln(x);$$

коэффициент корреляции признаков  $P_z = 0,975$ ; статистика Фишера для модели  $F = 153,64$ ; статистика Стьюдента для коэффициентов регрессии  $t_a = 39,37$ ;  $t_b = 12,4$ ;

– для класса крупности (-0,63+0,1 мм):

$$\hat{q} = 100,54 + 29,78 \cdot \ln(x);$$

коэффициент корреляции признаков  $P_z = 0,975$ ; статистика Фишера для модели  $F = 156,03$ ; статистика Стьюдента для коэффициентов регрессии  $t_a = 37,9$ ;  $t_b = 12,49$ .

## Магнітна і електрична сепарація

Следует отметить, что, как и для предыдущей модели, результаты являются значимыми при напряженности магнитного поля 0-0,9 Тл.

Результаты расчета функции распределения для брекчии графически представлены на рис. 1, в.

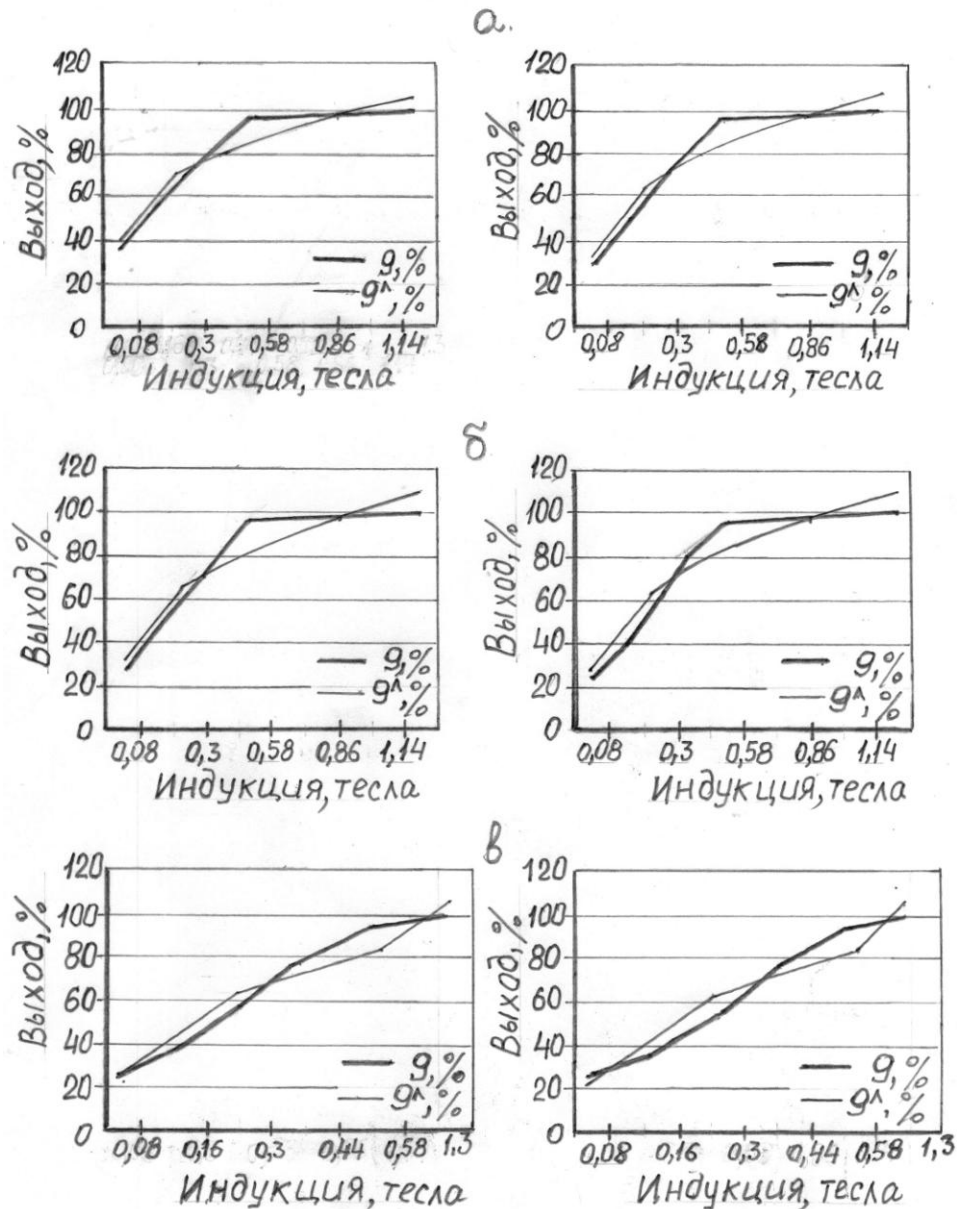


Рис. 1. Результаты расчета функции распределения для туфа (а), базальта (б), брекчии (в)

Получены статистические модели:

– для класса крупности (-2,5+0,63 мм):

$$\hat{q} = 99,04 + 29,95 \cdot \ln(x);$$

коэффициент корреляции признаков  $R_z = 0,97$ ; статистика Фишера для модели

## **Магнітна і електрична сепарація**

$F = 76,31$ ; статистика Стьюдента для коефіцієнтів регресії  $t_a = 20,23$ ;  $t_b = 8,74$ ;

– для класу крупності  $(-0,63+0,1 \text{ мм})$ :

$$\hat{q} = 98,18 + 30,14 \cdot \ln(x);$$

коефіцієнт кореляції ознак  $P_z = 0,976$ ; статистика Фишера для моделі  $F = 78,7$ ; статистика Стьюдента для коефіцієнтів регресії  $t_a = 20,24$ ;  $t_b = 8,87$ .

Таким образом, для всех полученных моделей установлена тесная корреляционная связь, высокая адекватность моделей и значимость коэффициентов регрессии. Для всех моделей приемлемым является диапазон напряженности магнитного поля до 0,9 Тл. Особенностью полученных результатов является то, что характер зависимостей для всех трех материалов и классов крупности одинаков, что следует учитывать при разработке технологии комплексной переработки базальтового сырья. Аналитически это подтверждается тем, что коэффициенты регрессии всех моделей попадают в один доверительный интервал при уровне значимости, не превышающем 0,06. Следовательно, для данного сырья можно получить одну обобщенную модель функции распределения. В результате расчетов было получено:

$$\hat{q} = 100,1 + 28,26 \cdot \ln(x).$$

Справедливость этой обобщенной модели можно объяснить тем, что магнитные свойства всех трех пород базальтового сырья примерно одинаковы, и их распределения слабо зависят от класса крупности в исследуемом диапазоне.

### **Список литературы**

1. Міденосні лавобрекції в трапах Волині / В.Г. Мельничук, В.В. Матеюк, Я.О. Косовский и др. // В кн.: Геологічна наука та освіта в Україні на межі тисячоліть: стан, проблеми, перспективи. – Львів, 2000. – С. 115-116.
2. Квасниця В.М., Нестеровський В.А., Павлишин В.І. До знахідки самородної міді в туфогенних породах Волині // Мінерал. журнал. – 2000. – № 4. – С. 20-24.
3. Особливості складу та будови цеоліт-сметитових туфів у кар'єрах Рівненсько-Волинського регіону / З.Р. Маланчук, Р.П. Рачковський, С.Є. Стець и др. // УІЩ "Наука. Техніка. Технологія". – Київ, 2006. – С. 109-110.
4. Надутый В.П., Маланчук З.Р., Гринюк Т.Ю. Определение элементного состава вскрышных и основных пород Рафаловского базальтового карьера // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – 2007. – Вып. 68. – С. 28-32.

© Надутый В.П., Эрперт А.М., Маланчук Е.З., 2012

*Надійшла до редколегії 10.09.2012 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. Б.О. Блюссом*