

**П.И. ПИЛОВ**, д-р техн. наук,

**Н.М. ВЕРШИНИНА, Д.М. СОБЕЩАНСКИЙ**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Для определения гранулометрического состава тонкодисперсных материалов используют различные методы. Наибольшее распространение получили микроскопический и седиментационный анализы, которые являются трудоемкими и неоперативными.

Актуальность проблемы измерения гранулометрического состава тонкодисперсной твердой фазы вызвана необходимостью оперативного контроля технологических процессов. Например, Вольногорский горно-металлургический комбинат перерабатывает россыпную титано-циркониевую руду, которая содержит в среднем около 20% глины [1, 3]. Глина накапливается в оборотной воде в виде частиц крупностью 1-5 мкм, повышая ее вязкость в несколько раз по сравнению с вязкостью воды. Обратная вода, по мере накопления в ней тонкодисперсной твердой фазы, приобретает повышенную вязкость [2, 3], которая негативно влияет на точность сепарационных процессов, что приводит к повышенному взаимозасорению продуктов сепарации и снижению качества концентратов, а также повышению потерь полезного компонента в отходах. Данная проблема актуальна для комбината, т.к. с августа 2007 года наблюдается снижение извлечений циркона, рутила и ильменита в соответствующие концентраты, основной причиной чего является высокое содержание глины в оборотной воде.

Контроль качества оборотной воды, в том числе и гранулометрического состава ее твердой фазы, можно осуществлять с помощью микроскопического анализа, возможность применения которого изучена в данной работе. Микроскопический анализ образцов проводился с помощью бинокюляра МБС-9 при увеличении до  $\times 42$ . Первоначальный анализ показал высокую дисперсность и наличие в исследуемой пробе гидрослюды, которая в основном образована по слюде-мусковиту. От слюды гидрослюда отличается пониженным содержанием калия и повышенным содержанием воды. Форма глинистых частиц – предположительно изометричная, иногда удлинённая. Присутствует также много агрегатов, которые нельзя идентифицировать по размерам с помощью обычного микроскопа. Более детальное исследование препаратов проводилось на растровом электронном микроскопе – микроанализаторе РЭММА-102-02 производства фирмы СЭЛМИ (г. Сумы, Украина). В ходе исследования также было выявлено наличие мусковита и установлены размеры частиц указанного минерала, которые находятся в интервале 10-80 мкм.

## Підготовчі процеси збагачення

При использовании седиментации эффективно отделить частицы различной крупности друг от друга не удается и, таким образом, разделить материал на классы крупности. К тому же продолжительность анализа весьма велика. Твердая фаза оборотной воды содержит не только частицы кварца и рудных песков, но и глинистые частицы. В свою очередь, из-за своих микронных размеров глинистые частицы по своей плотности близки или равны плотности воды, поэтому находятся во взвешенном состоянии постоянно, и осадить или удалить их полностью или хотя бы частично очень трудно. Из-за низкой скорости осаждения глинистых частиц не удалось определить гранулометрический состав и с помощью метода Н.А. Фигуровского.

Исследование частиц твердой фазы оборотной воды с помощью микроанализатора РЭММА-102-02 и просвечивающего электронного микроскопа ПЭМ-У производства фирмы СЭЛМИ (г. Сумы, Украина) позволили получить микрофотографии участков с частицами и лишь приблизительно оценить их крупность. Невысокое качество микрофотографий и наличие слипшихся частиц не позволило однозначно судить об их размерах.

Поэтому для решения этой задачи нами создана программа для анализа изображений Simple Image Analyzer (SIA). Основной задачей данной программы является поиск на фотографиях, полученных с помощью электронного микроскопа, частиц (минеральных зерен) и определение их параметров: периметра, площади, коэффициента формы, а также анализ полученных значений.

Общий вид интерфейса программы приведен на рис. 1.

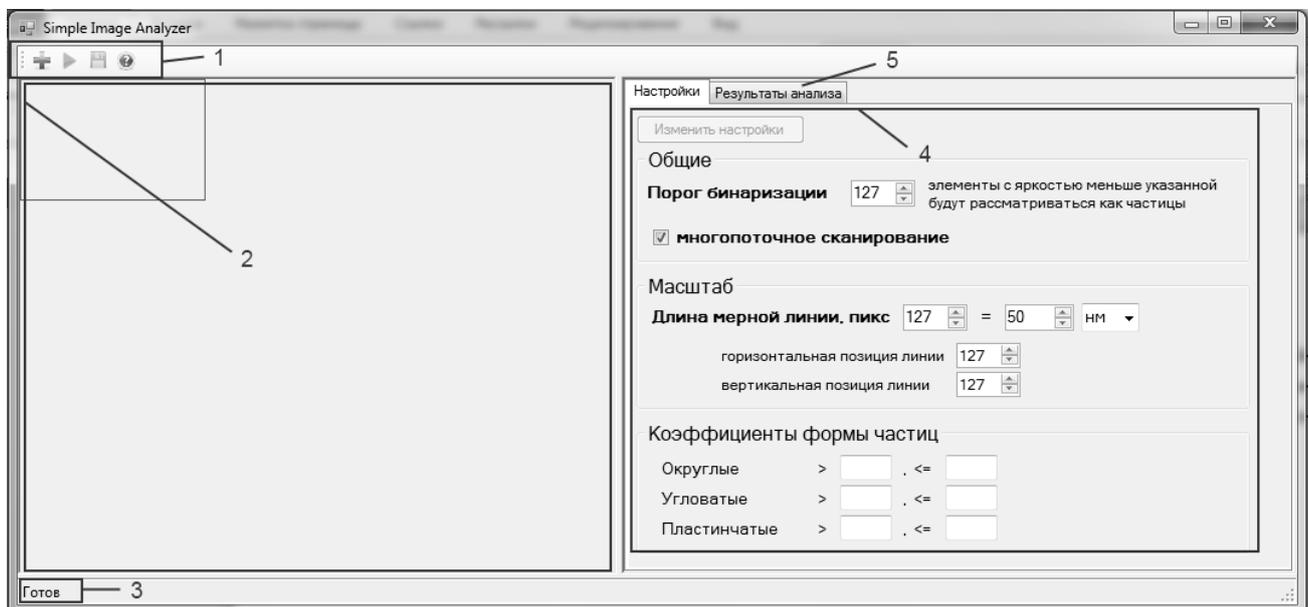


Рис. 1. Интерфейс программы Simple Image Analyzer:

- 1 – основное меню программы;
- 2 – область отображения выбранного изображения (фотографии с микроскопа);
- 3 – уведомления о текущем состоянии программы или выполняемой работе;
- 4 – область настроек программы;
- 5 – вкладка с результатами анализа изображения

## **Підготовчі процеси збагачення**

Общий алгоритм работы программы состоит из следующих этапов: загрузка указанного пользователем анализируемого изображения, подготовка изображения (бинаризация), поиск на изображении частиц, анализ полученных результатов.

*Загрузка изображения в программу* осуществляется с помощью стандартного диалогового окна открытия файла операционной системы, вызываемого кнопкой с изображением плюса в меню программы. В случае успешного открытия, содержимое файла будет загружено в область отображения (рис. 1) и станет активной кнопка запуска анализа изображения с текущими настройками.

*Бинаризация изображения.* Перед началом поиска частиц выполняется пороговая бинаризация указанного изображения с целью отделения частиц от фона. Яркость каждого пикселя исходного изображения сравнивается со значением порога бинаризации из настроек программы. Если яркость меньше, пиксель относится к категории "частиц", если больше – к категории "фона" (рис. 2).

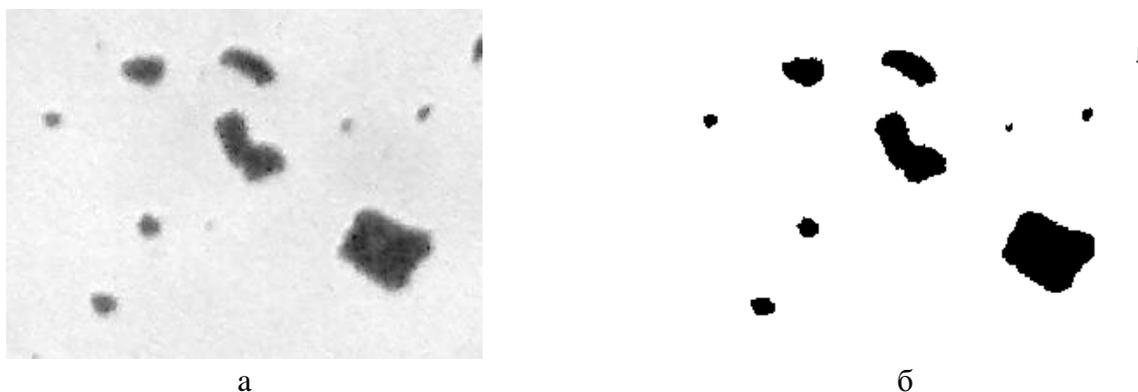


Рис. 2. Бинаризация изображения:  
а – исходное изображение; б – бинаризованное изображение

Величину порога бинаризации можно изменить в настройках программы в пределах от 10 до 250 (полный диапазон яркости измеряется от 0 до 255), что позволяет адаптироваться под различную "яркость" исходных изображений.

*Поиск на изображении частиц и определение их параметров* начинается с определения "контура" частицы. Для этого изображение последовательно "опрашивается", находится любая крайняя точка из категории "зерен" (точка, вокруг которой есть хотя бы одна точка из категории "фон") – она становится первой точкой контура частицы. В дальнейшем, используя эту точку как отправную, циклически выполняется алгоритм слежения за контуром до тех пор, пока не будет выполнен полный обход – текущая точка слежения станет равной отправной точке. После того, как все точки контура найдены, выполняется поиск "внутренних" точек частицы. Таким образом, определяется площадь частицы. Схематически этот процесс изображен на рис. 3 (каждый квадратик представляет собой пиксель изображения).

## Підготовчі процеси збагачення

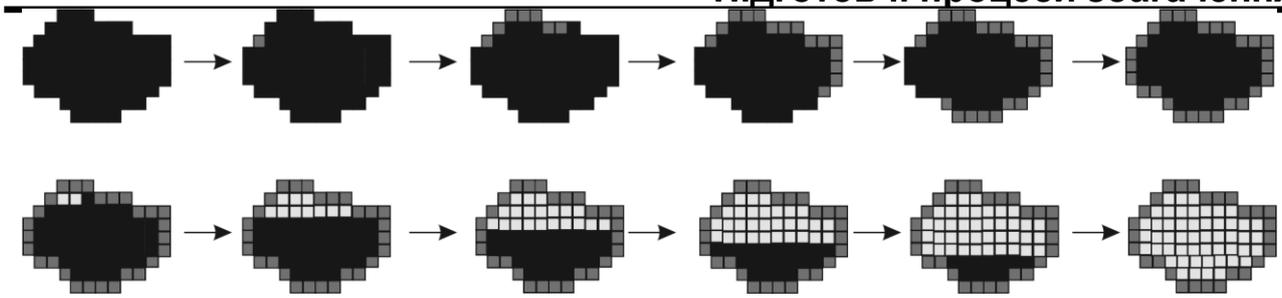


Рис. 3. Последовательность определения параметров частицы

Анализ изображения продолжается до тех пор, пока не будут "опрошены" все пиксели изображения. Для ускорения процесса анализа, исходное изображение разбивается на несколько изображений меньшего размера, которые обрабатываются одновременно.

Анализ полученных результатов отображается автоматически после завершения поиска частиц и определения их параметров.

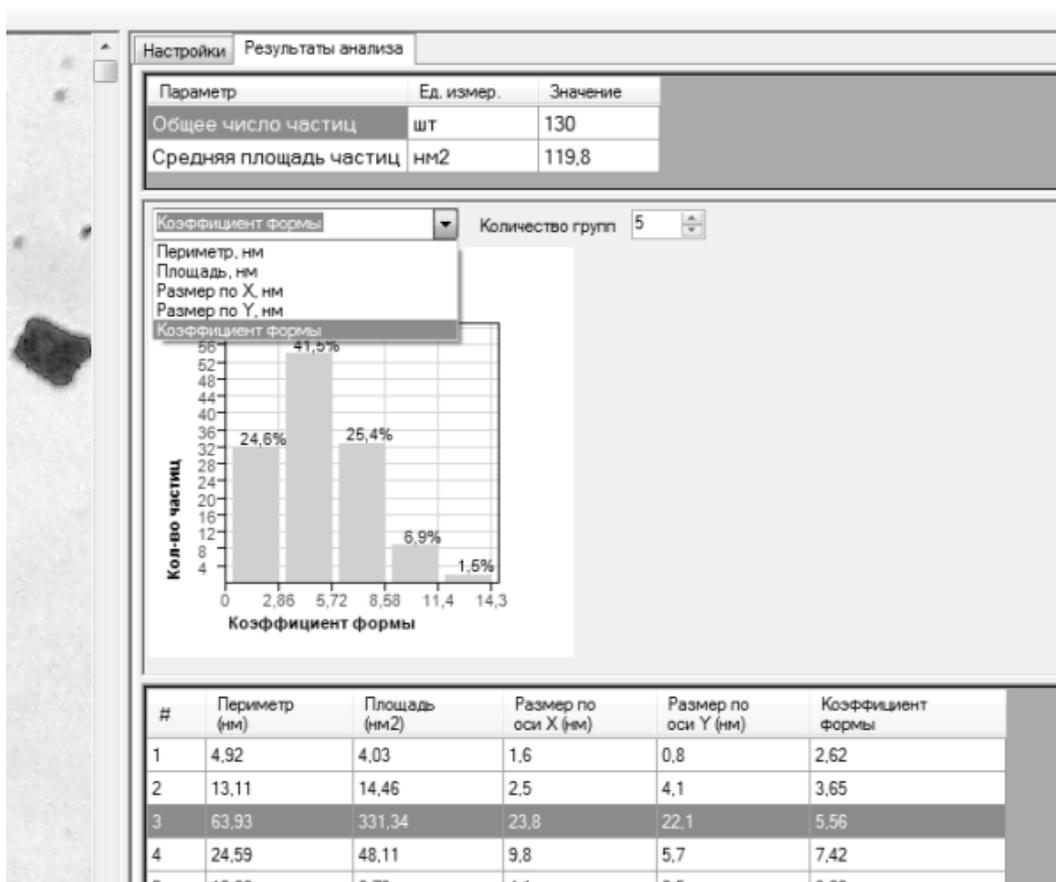


Рис. 4. Общий вид окна с результатами анализа

Результаты анализа можно разбить на три группы: общие показатели (к которым относятся общее число частиц и их средняя площадь), гистограмма распределения частиц по различным параметрам (периметр, площадь, размер по оси X, размер по оси Y, коэффициент формы) и таблица с параметрами каждой найденной частицы. Количество колонок в гистограмме можно менять от 3 до

## **Підготовчі процеси збагачення**

10 с помощью переключателя "Количество групп" (рис. 4), данные в таблице с параметрами частиц можно отсортировать по любому параметру.

Таким образом, предложенная программа позволяет обрабатывать и анализировать микрофотографии участков с частицами и определять их гранулометрический состав. При этом трудоемкость и продолжительность анализа существенно сокращаются по сравнению с известными методами.

### **Список литературы**

1. Пилов П.И., Вершинина Н.М., Краснопер В.П. Влияние качества оборотной воды на показатели обогащения титано-циркониевой руды // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 36(77)-37(78). – С. 192-196.
2. Пилов П.И. Влияние реологических свойств оборотной воды на сепарационные процессы // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2008. – Вип. 32(73). – С. 133-139.
3. Пилов П.И., Вершинина Н.М. Вязкость разбавленных суспензий при обогащении полезных ископаемых // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 40(81). – С. 40-47.

© Пилов П.И., Вершинина Н.М., Собошанский Д.М., 2012

*Надійшла до редколегії 31.03.2012 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*