

УДК 552.5

## ИЗУЧЕНИЕ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ МИКРОПЕТРОГРАФИИ

**В. П. Самодуров, Е. С. Филитович**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск, Беларусь, [vladimirsamodurov1946@gmail.com](mailto:vladimirsamodurov1946@gmail.com), [elizza3007@gmail.com](mailto:elizza3007@gmail.com)*

Разработаны методические подходы к анализу песчаных грунтов методами цифровой петрографии с использованием программного комплекса Fiji (ImageJ). Определены статистические параметры распределения размеров минеральных зерен, а также параметры, характеризующие форму частиц.

**Ключевые слова:** цифровая петрография; Fiji (ImageJ); анализ минеральных зерен.

**V. P. Samodurov, E. S. Filitovich**

## STUDY OF SANDY GROUNDS FOR CONSTRUCTION USING DIGITAL MICROPETROGRAPHY METHODS

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, 220030, Minsk, Belarus,  
220030, г. Минск, Беларусь, [vladimirsamodurov1946@gmail.com](mailto:vladimirsamodurov1946@gmail.com), [elizza3007@gmail.com](mailto:elizza3007@gmail.com)*

Methodical approaches to the analysis of sandy soils using digital petrography method and software package Fiji (ImageJ) have been developed. The statistical parameters of the mineral size distribution, as well as the particle shape parameters, were determined.

**Keywords:** digital petrography; Fiji (ImageJ); mineral particles analysis.

**Цели и задачи.** В данной работе представлены результаты разработки методических подходов к исследованию песчаной фракции грунтов под строительство. В работе использованы современные методы цифровой петрографии с применением программных комплексов для обработки и анализа цифровых изображений. Объектами исследований служили образцы песчаных грунтов Беларуси.

**Методический подход** основан на использовании новых возможностей современной цифровой петрографии. Работа выполнена с помощью цифрового петрографического микроскопа NIKON Eclipse, который имеет компьютерное управление и снабжён механизированными устройствами, позволяющими выполнять съёмки микрообъектов шлифов горных пород и шлихов. Многие аналитические приёмы в настоящее время не используются в практике петрографических исследований по

ряду причин, поэтому в данной работе поставлена задача определить наиболее эффективные методические подходы количественного анализа песков.

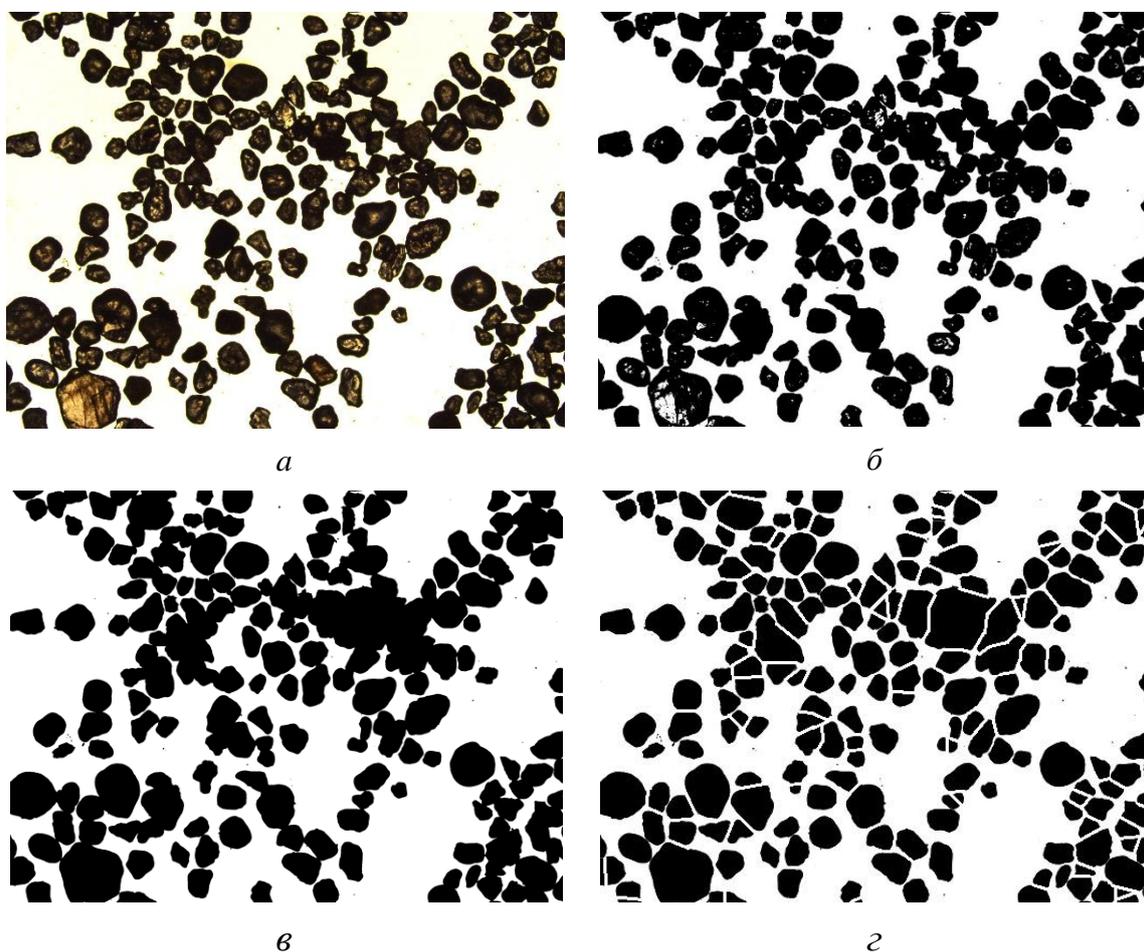
*Основными этапами работы* являются: получение исходных цифровых микрофотографий шлихов, подготовка их к анализу и выполнение количественного анализа минеральных зерен в составе шлихов с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ) [1, 4]. Подготовка к изучению шлихов состоит в нанесении равномерного слоя песчаной фракции на предметное стекло без использования иммерсионной жидкости и без покровного стекла. Шлих должен быть однослойным, без перекрытия зерен. Съемка микрофотографий выполняется в режиме «на просвет». Из-за большой разницы показателей преломления минералов и воздуха зерна имеют высокий контраст и четкие границы, что облегчает изучение их размеров и формы.

Дальнейшие этапы количественного анализа шлихов выполнялись с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ). Подготовка к анализу состоит в создании бинарного изображения изучаемого шлиха с помощью операции «Цветной порог» (Color Threshold): Image > Adjust > Color Threshold [2]. Выделение минеральных зерен удобнее проводить в цветовом пространстве HSB (hue, saturation, brightness). Метод использования порога можно оставить Default, а цвета выделения минералов с помощью порога лучше выбрать B&W (черно-белый), при этом изучаемые зерна будут выделены черным цветом на белом фоне (рисунок, б). В случае появления белых пятен внутри зерен, следует применить операцию «Заполнить дырки»: Process > Binary > Fill Holes (рисунок, в). Бинарные изображения могут быть представлены в разных форматах. Пиксели на бинарных изображениях с расширением .bin имеют значения 0 или 1. В приложении Process > Binary пиксели имеют значение 0 или 255, поэтому перед дальнейшими операциями следует применить преобразование Process > Binary > Make Binary. Часто минеральные зерна в шлихах соприкасаются, поэтому их следует разделить для дальнейшего анализа отдельных частиц. Это можно выполнить с помощью операции «Водораздел» (Watershed), которая также входит в пакет Process > Binary. На рисунке (г) представлен результат разделения агрегатов минеральных зёрен на отдельные зерна. На этом этапе подготовки цифровой фотографии к анализу минеральных зерен завершается.

Анализ зерен выполняют с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ) в последовательности: Analyze > Analyze Particles [3]. При активации этой процедуры появляется всплывающее окно, предлагающее установить параметры анализа частиц. Параметр Size (pixel<sup>2</sup>) определяет диапазон площади измеряемых частиц. Он может быть задан в диапазоне

3 – Infinity. В этом случае сверхмелкие частицы размером 1 pixel не будут приниматься к анализу. Другие параметры можно оставить неизменными: Circularity (0.00–1.00); Show – Nothing. Следует отметить параметры для применения: Display results; Clear results; Summarize.

Результатом анализа минеральных зерен Analyze > Analyze Particles являются две таблицы: «Summary» и «Results». Таблица «Summary» содержит обобщённые результаты анализа и содержит ряд параметров: число анализируемых минеральных зерен (Count); общая площадь частиц (Total Area); средний размер (Average Size); процентное содержание минеральных зерен (%Area), а также ряд усреднённых параметров формы зерен. Таблица «Results» содержит результаты анализа всех частиц по отдельности, при этом большинство параметров содержат данные о форме минеральных зерен.



Исходная микрофотография образца Р-4, Ф2 *a*, бинарное изображение после операции «Color Threshold» *б*, изображение после операции «Fill Holes» *в*, разделение частиц после операции «Watershed» *z*

Таким образом, в образце Р-4, Ф2 (рисунок) выделены 241 минеральных зерен, которые занимают 46,3 % площади препарата. Средний размер частиц в шлихе составляет 9443,38  $\mu\text{m}$ , а средний периметр равен 344,76  $\mu\text{m}$ . Плотность (solidity) определяется как площадь частицы, деленную на площадь ее выпуклой оболочки, и составляет 0,930. Такой высокий показатель связан с применением операции «Fill Holes». Округлость «Circularity» определяется как  $\text{Circ} = 4\pi(\text{площадь}/\text{перим.}^2)$  и равна 0,743, что характерно для окатанного песчаного материала.

*Заключение.* Современные методы цифровой петрографии существенно расширяют возможности анализа песчаных грунтов. Результаты анализа содержат два типа параметров: подсчет минеральных зерен и статистику их распределений, а с другой стороны – изучение многих количественных характеристик морфологии (формы) зерен, недоступные для анализа песков классическими методами. Особенности формы песчаных зерен (их окатанность) обычно определяют с помощью трафаретов по 5-бальной шкале [5, 6]. Этот параметр свидетельствует о длительности переноса и количества переотложений песчаной фракции обломочных пород.

Программный комплекс Fiji (ImageJ) определяет множество характеристик формы частиц, таких как: perimeter, bounding rectangle, fit ellipse, circularity, aspect ratio, roundness, solidity, Feret's diameter. Эти количественные данные могут служить основой для установления закономерностей и связей разных параметров формы и размеров минеральных зерен для исследования процессов формирования песчаных грунтов.

### Библиографические ссылки

1. *Конюхов А. Л.* Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: учеб. метод. пос. Томск : Кафедра ТУ, ТУСУР, 2012.
2. Workshop: Particle Analysis [Электронный ресурс]. URL: <https://imagej.net/imaging/particle-analysis#:~:text=For%20color%20images%2C%20setting%20the,B%26W%20as%20the%20thresholding%20color> (дата обращения: 09.02.2024).
3. Analyse Menu [Электронный ресурс]. URL: <https://imagej.net/ij/docs/menus/analyze.html> (дата обращения: 09.02.2024).
4. Workshop: Image processing and Analysis with ImageJ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.com/search?q=ImageJ+analyse+menu&oq=ImageJ+analyse+menu&aqs=chrome..69i57j0i13i19i512i4j0i19i22i30i5.25086j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF> (дата обращения: 09.02.2024).
5. *Платонов М. В., Тугарова М. А.* Петрография обломочных и карбонатных пород. СПб. : Изд-во С.-Петербур. ун.-та, 2017.
6. *Шванов В. Н.* Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Ленинград : Недра, 1987.