

УДК 553.086

ИЗУЧЕНИЕ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ МАКРО- И МИКРОПЕТРОГРАФИИ

В. П. Самодуров, С. А. Ковалевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, vladimirsamodurov1946@gmail.com,
sofiya.kovalevich2005@gmail.com*

Исследованы возможности программного комплекса Fiji (ImageJ) для количественного анализа содержаний рудных минералов в составе горных пород и содержаний вулканического стекла в эффузивных породах, а также определения индекса мафичности плутонических пород.

Ключевые слова: цифровая петрография; Fiji (ImageJ); цветной порог; индекс мафичности; содержание рудных минералов.

STUDY OF MAGMA AND METAMORPHIC ROCKS BY DIGITAL MACRO- AND MICROPETROGRAPHY METHODS

V. P. Samodurov, S.A. Kovalevich

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, 220030, Minsk, Belarus,
vladimirsamodurov1946@gmail.com, sofiya.kovalevich2005@gmail.com*

The capabilities of the Fiji (ImageJ) software package for the quantitative analysis of the content of ore minerals in rocks and the content of volcanic glass in effusive rocks, as well as the determination of the maficity index of plutonic rocks, were investigated.

Keywords: digital petrography; Fiji (ImageJ); color threshold; maficity index; content of ore minerals.

Цели и задачи. В работе представлены методические подходы к количественному определению индекса мафичности горных пород, анализу содержаний рудных минералов и количественному определению содержаний вулканического стекла в шлифах магматических пород. Объектами исследований служили учебные образцы горных пород кафедры региональной геологии Белорусского государственного университета и микрофотографии шлифов, полученных из Internet.

Методический подход включает этап получения и хранения исходных микрофотографий шлифов в режиме «без анализатора» и «в скрещенных николях». Эти работы выполнены с использованием

цифрового петрографического микроскопа NIKON Eclipse Ni-E. Этот прибор снабжен механизированными устройствами и имеет компьютерное управление с помощью программы NIS-elements. Дальнейшая подготовка микрофотографий к анализу и выполнение аналитических исследований выполнялись с помощью программного обеспечения Fiji (ImageJ). Эта программа свободного доступа ориентирована на количественный анализ фотографий, в том числе микрофотографий шлифов горных пород.

Особенностью микроскопа NIKON Eclipse Ni-E является небольшое поле зрения – 6,25 мм с использованием объектива $\times 2$. Для надёжного определения статистических параметров желательно исследовать всю поверхность шлифа. Этого можно достичь, составляя мозаичное изображение шлифа или выполнить несколько микрофотографий по-отдельности, а результаты определений усреднить.

Подготовка и анализ цифровых фотографий выполнялись с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ). Этот комплекс позволяет оперировать с изображениями многих форматов, выполняя редакцию и подготовку цифровых фотографий к анализу [1]. Количественный анализ изображений определяет разнообразные данные – от определения содержаний минеральных компонентов в породе до статистических параметров вариаций формы, размеров, ориентаций зерен и др.

Использование методов цифровой петрографии для определения цветового индекса (индекса мафичности «М») плутонических пород. Исходным цифровым изображением служила фотография полированной плитки гранита размером 15 \times 7 см (рис. 1). В составе гранита преобладают кварц, калиевый полевой шпат и кислый плагиоклаз, а мафический биотит обычно присутствует в подчинённых содержаниях. Процедуру подготовки цифровой фотографии гранита к анализу можно выполнить, используя метод повышения контраста: Fiji > Image > Adjust > Color balance. Далее для выделения биотита используются особенности его цветности – темный цвет, присущий мафическим минералам. Для этого применяют операцию *цветной порог* (color threshold): Fiji > Image > Adjust > Color Threshold. Параметры цветного порога можно варьировать. В данной работе использовалось пространство HSB (Hue = цвет, Saturation = насыщенность цвета, Brightness = яркость). Под окном каждого параметра расположены два ползунка, определяющие нижнюю и верхнюю границу диапазона пропускания цвета изучаемых минералов. Результат выделения биотита с помощью операции Color Threshold показан на рис. 2. Это изображение является бинарным (.bin) и используется для количественного анализа отдельных (выделенных) минералов в составе горной породы.



Размер поля зрения 15 см. На врезке – окно регулировки контраста изображения.

Рис. 1. Цифровая фотография гранита



На врезке – окно управления параметрами цветности в пространстве HSB.

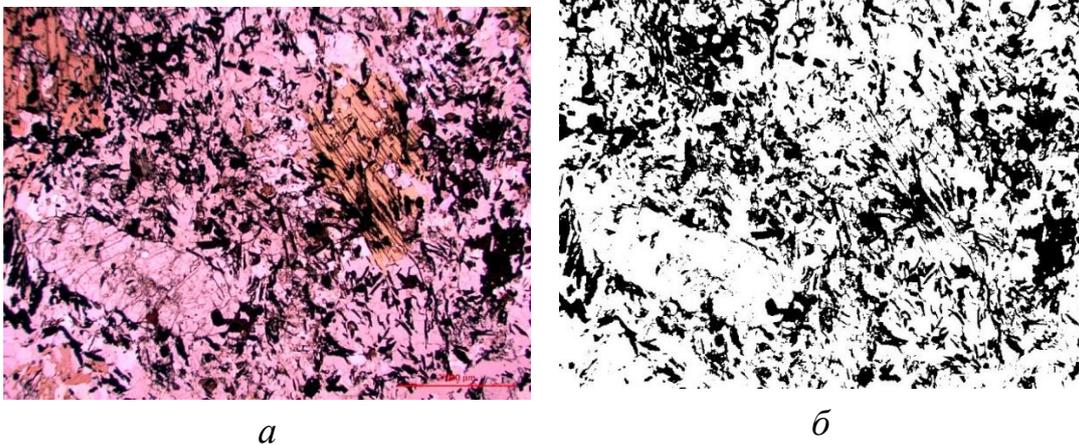
Рис. 2. Результат выделения биотита после применения операции color threshold

Анализ выделенного минерала выполняется следующим образом: Fiji > Analyze > Analyze Particles. Перед началом измерений на этапе Fiji > Analyze следует установить параметры анализа (Set Measurements), отмечая необходимые параметры измерений. Можно отметить все параметры, и в этом случае таблица результатов будет содержать полный набор параметров, включая как количественные параметры, так и статистические параметры распределений характеристик минерала.

Анализ бинарного изображения color threshold в цветах B&W выполняется по черному цвету на белом фоне. Результаты анализа получают в двух формах — таблицу количественных параметров всех частиц по-отдельности и таблицу обобщенных результатов (Summary). Среди многих

параметров нас интересует параметр общей площади мафических минералов в составе гранита. Этот параметр в таблице Summary равен 9,008 % в колонке %Area.

Данный методический подход является также эффективным способом определения содержаний рудных минералов в шлифах горных пород. Примером может служить определение содержаний графита в составе кристаллических сланцев. Определение содержаний графита связано с большими трудозатратами, а методы цифровой петрографии позволяют получить количественные данные содержаний графита в шлифах. На рис. 3 представлена микрофотография шлифа графитсодержащего кристаллического сланца в режиме «без анализатора». Результатами анализа определено присутствие в поле зрения 1006 минеральных зерен графита, а общее содержание его составляет 32,58 %.



a – без анализатора, *б* – результат выделения зерен графита с помощью операции color threshold. Размер поля зрения 2,5 мм.

Рис. 3. Микрофотография шлифа графитсодержащего кристаллического сланца [2]

Этот подход также может быть использован для определения содержаний вулканического стекла в шлифах эффузивных горных пород. Вулканическое стекло в скрещенных николях гаснет, и поэтому его содержание может быть определено с помощью данного метода. Однако присутствие непрозрачных рудных минералов дает добавочный вклад в количественное содержание стекла. На рис. 4 приведён пример количественного определения содержания вулканического стекла в основной массе риолита. Микрофотография шлифа снята в режиме «в скрещенных николях» и «без анализатора» с объективом $\times 40$ [2]. Используя операцию color threshold, было определено общее содержание стекла и непрозрачных минералов (рис. 4*a* и 4*б*). Это общее содержание составляет 79,73%. Остальные

20,27% составляют микролиты в составе основной массы риолита. Содержание непрозрачных минералов определялось по микрофотографии шлифа в режиме «без анализатора» (рис. 4в). Анализ микрофотографии порога V&W показал присутствие 12,47 % непрозрачных минералов. Таким образом, содержание вулканического стекла в основной массе риолита составляет 67,27 %.

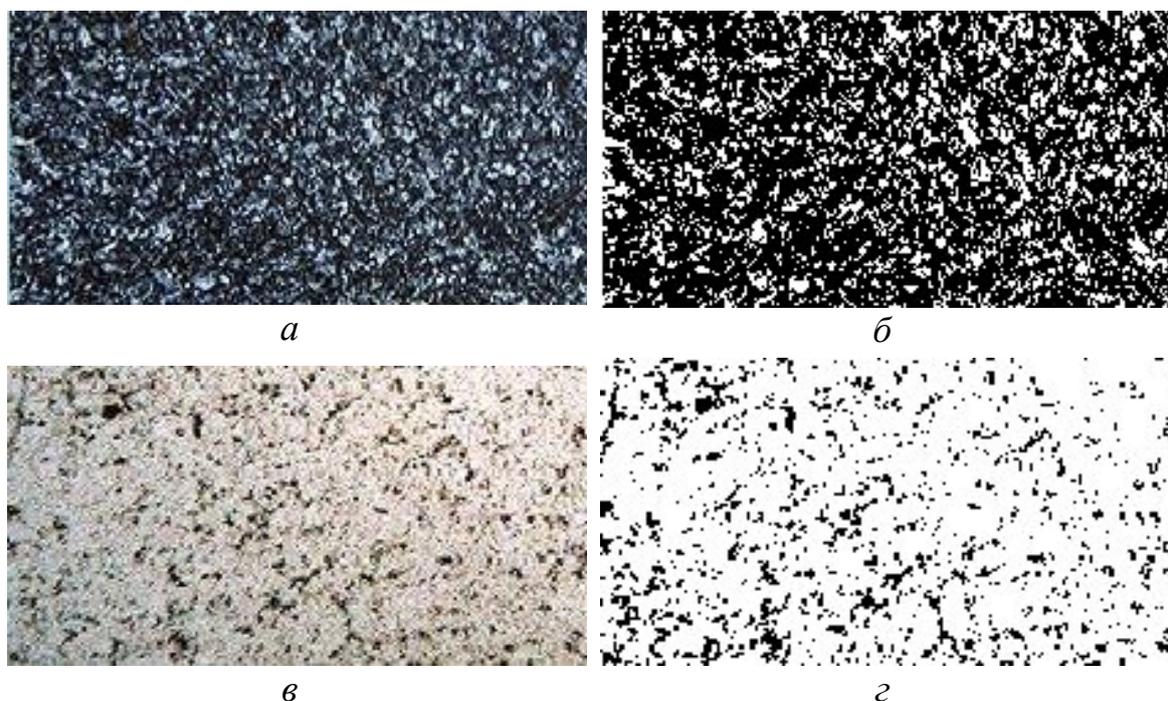


Рис. 4. Микрофотография основной массы риолита в скрещенных николях *а*, и результат применения порога V&W *б*, микрофотография шлифа без анализатора *в*, результат применения порога V&W *г*. Размер поля зрения 2,5 мм

Заключение. Программный комплекс Fiji (ImageJ) позволяет выполнять обработку микро- и макроизображений штуфов и шлифов горных пород с последующим количественным анализом содержаний минералов, а также определять статистические параметры распределения минеральных зерен по их размерам и форме. Это открывает новые возможности изучения процессов формирования горных пород и выполнения количественные оценки содержаний рудных компонентов для оценки рудоносности пород.

Библиографические ссылки

1. *Конюхов А. Л.* Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: учеб. метод. пос.. Томск : Кафедра ТУ, ТУСУР, 2012.
2. *Walker I.* An Introduction to Mineralogical Terms and Observations with the Leica CME [Электронный ресурс]. URL: <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artfeb04/iwouslides.html> (дата обращения: 09.03.2024).