

Закономерности изменения структуры частиц руды, их геометрических параметров после дробления в центробежно-ударных аппаратах в открытом цикле были изучены с помощью промышленной системы анализа изображений «SIAMS – 600».

Всестороннее изучение шлаков доменного, мартеновского и конверторного производств ОАО ММК комплексом минералого-аналитических методов исследования (рис. 1) позволило установить, что во всех изученных шлаках близкое соотношение морфометрических параметров:

- круглый фактор формы металлических включений составляет 0,68.....0,87, а неметаллических включений – 0,34.....0,51 с вероятностью частоты обнаружения до 90%;

- соотношение размеров металлических и неметаллических включений по их средним значениям находится в пределах 0,12.....0,08 с вероятностью 95%.

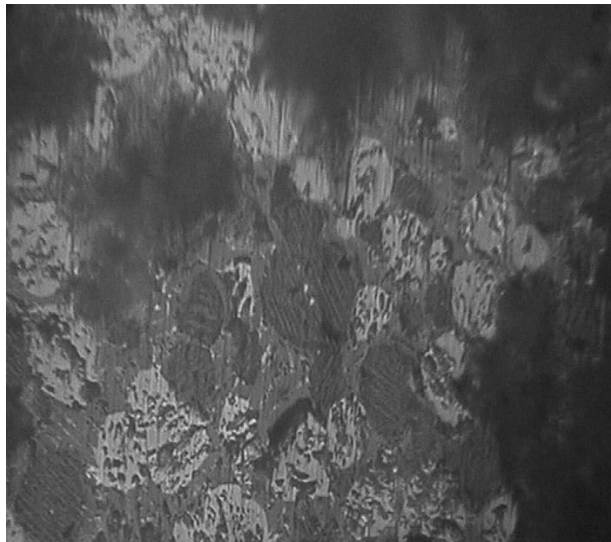


Рис. 1. Микрофотографии сталеплавильных шлаков, ув. 250

Полученная информация о морфологии зерен, их физико-механических свойствах была использована при внедрении аппаратов центробежно-ударного дробления на участке переработки металлургических шлаков ОАО ММК, в условиях ООО «Реметал-С» (г. Самара) для дробления алюминиевых шлаков, при разработке технологических рекомендаций переработки шлаков медной плавки ЗАО «Карабашмедь».

*Работа выполнена при поддержке Гранта РНП 2.1.2.6594*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ожогина Е.Г., Котова О.Б., Чантурия Е.Л. Роль технологической минералогии в прогнозной оценке качества минерального сырья и его глубокой и комплексной переработки // Горный журнал. 2007. № 2. С. 15–23
2. Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С. Обогащение минерального сырья Карелии. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН. 2003. С. 19, 29.

## ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ В ПОРОДЕ И ЕГО ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

**Шеков В.А., Иванов А.А., Мясникова О.В.**

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

Горные породы в естественном состоянии, находящиеся непосредственно на дневной поверхности, уже напряжены. В простейшем случае это проявляется в виде так называемой литостатической нагрузки, формирующей литостатические напряжения. Напряжения в породе существуют и после снятия внешней нагрузки, а именно при проходке горных выработок, выработке карьеров отмечается сохранение величин горизонтальных напряжений после уменьшения или снятия вертикальных напряжений. Освобождение от энергии упругого сжатия сопровождается развитием многочисленных дефектов структуры уже присутствующих в породе, во многих случаях растрескиванием образцов, отскакиванием тонких пластин и их разрушением.

От степени повреждения блока природного камня при добыче зависит качество товарной продукции (облицовочных плит и др. изделий) и долговечность их эксплуатации в сложных климатических условиях.

Цель работы – выявление закономерностей распределения микротрещин в ориентированных образцах и сопоставление микро- и макротрещиноватости в пределах одного месторождения для прогнозирования качества добываемых блоков природного камня.

Для исследования были выбраны месторождение «Пувашвара», приуроченное к Кармангскому массиву в северо-западной части изучаемой территории, месторождение «Кашина Гора», юго-восточная часть Фенноскандинавского щита, расположенного на территории Республика Карелия. На данных месторождениях были отобраны ориентированные образцы для дальнейшего изучения при выбурировании ручным пробоотборником, на еще не оторванном от массива образце, на верхнем торце делается маркировка направления на север.

В качестве инструмента для исследований были приняты методики, позволяющие охарактеризовать ориентировку определенных минералов, и разработаны методики трехмерного моделирования минеральных зерен на основе существующей компьютерной программы и объемного моделирования микротрещин.

В частности, из существующих, использовалась методика замеров ориентировки оси С кварца (программа StereoNett, разработанная Йоханнесом Дуйстером (Johannes Duyster) из Института геологии Рурского университета, Германия) в шлифах.

Основой метода является оценка интенсивности света по формуле:

$$I = I_0 \sin^2(2\varphi) \sin^2\left(\frac{\pi\Gamma \cos^2 \delta}{\lambda_0}\right), \quad (1)$$

где:

$I_0$  – интенсивность света, проходящего через кристалл;

$\varphi$  – азимут между оптической осью и поверхностью поляризатора;

$\Gamma$  – разность оптических путей. Разность оптических путей это линейная функция толщины шлифа  $d$  лучевого двупреломления.  $\Gamma = d(\eta\gamma - \eta\alpha)$

$\delta$  – угол падения оптической оси;

$\lambda_0$  – длина волны (монохромного) света в вакууме (или воздухе).

Программа StereoNett вычисляет угол падения по разности интенсивностей между темнейшей и светлейшей позицией при вращении столика на  $90^\circ$ . В наиболее светлом положении азимут  $\varphi$  равен  $45$  градусам, и вышеприведенная формула упрощается до вида

$$I = I_0 \sin^2\left(\frac{\pi\Gamma \cos^2 \delta}{\lambda_0}\right), \quad (2)$$

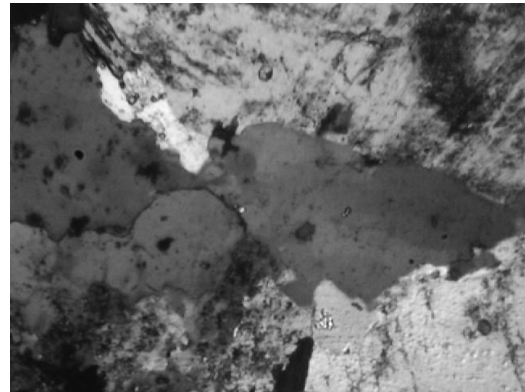
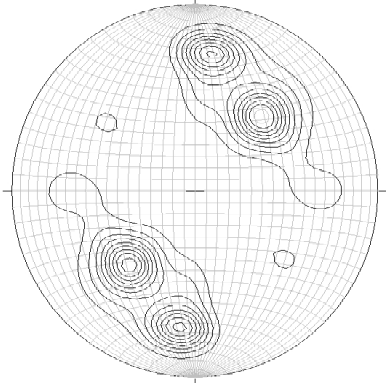
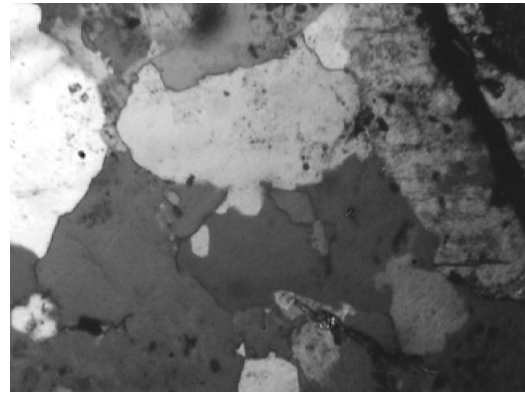
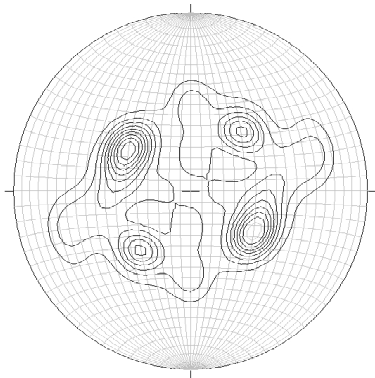
Результатом является карта ориентации осей С (локализованной текстуры), из которой можно рассчитать диаграмму распределения плотностей яркостей. Карта сохраняется как трехканальное изображение в формате RGB, которое далее обрабатывается с использованием программы StereoNett. Полученные результаты приведены на рисунке 1.

Для исследования трехмерной ориентировки минералов на микроуровне и построения объемной модели микротрещиноватости, на основе существующей компьютерной программы Amiga, позволяющей строить томографические модели, были разработаны методики подготовки образцов и выполнения замеров.

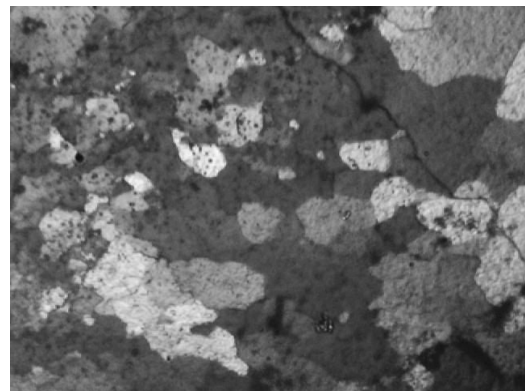
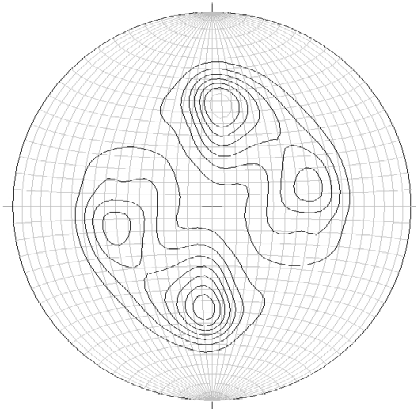
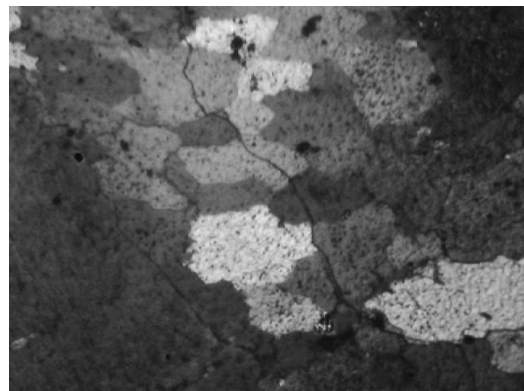
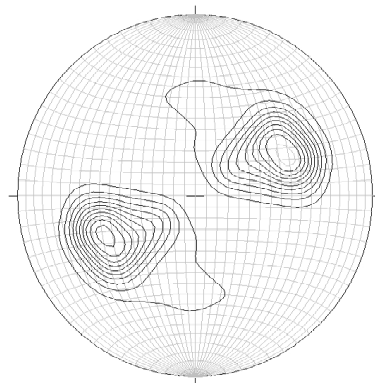
Суть подготовки состояла в том, что из отобранных ориентированных образцов выпиливались цилиндры перпендикулярно длинной оси образца высотой несколько сантиметров, достаточной для получения серии последовательных срезов (изображений) зерна минерала в объеме. Образец обрабатывался на шлифовальном станке с получением зеркальной поверхности. Подготовленный образец сканировался для получения картинки высокого разрешения. После этого с образца сошлифовывался поверхностный слой толщиной  $0.1 - 0.2$  мм, и следующий полированный слой также сканировался. Таким образом, были подготовлены несколько отсканированных срезов образца, которые затем собирались в единый пакет слоев при помощи программы Amiga.

Этот пакет слоев в последующем проходил процедуру выравнивания, сегментирования слоев. При проведении данной процедуры на каждом отдельном слое минерал или трещина выделялись уникальным цветом и относились к определенному «материалу», что выполнялось для каждого минерала или трещины в отдельности.

По результатам сегментирования выполнялась стандартная операция построения поверхности и далее на ее основе построение объемной модели минерала, трещин в минерале или в минеральном агрегате, а также объемной модели трещиноватости образца. Ниже на рисунке 2 и рисунке 3 представлены полученные модели.

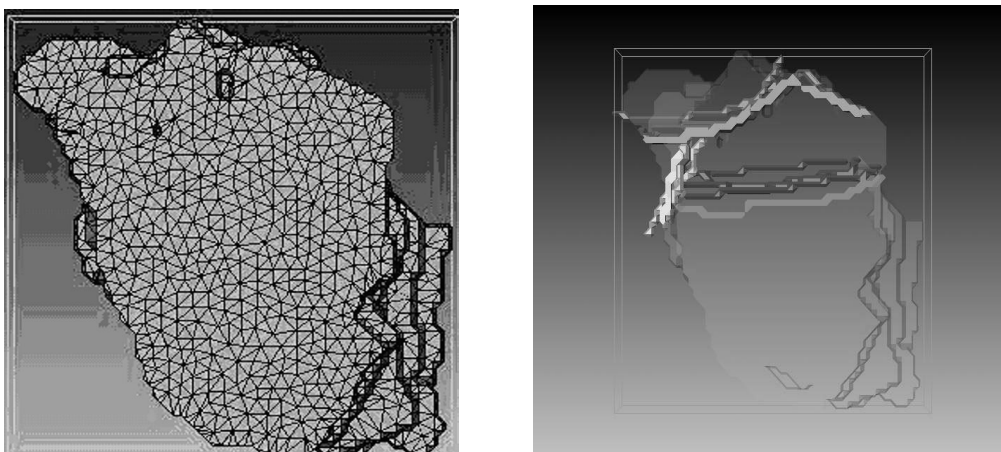


А

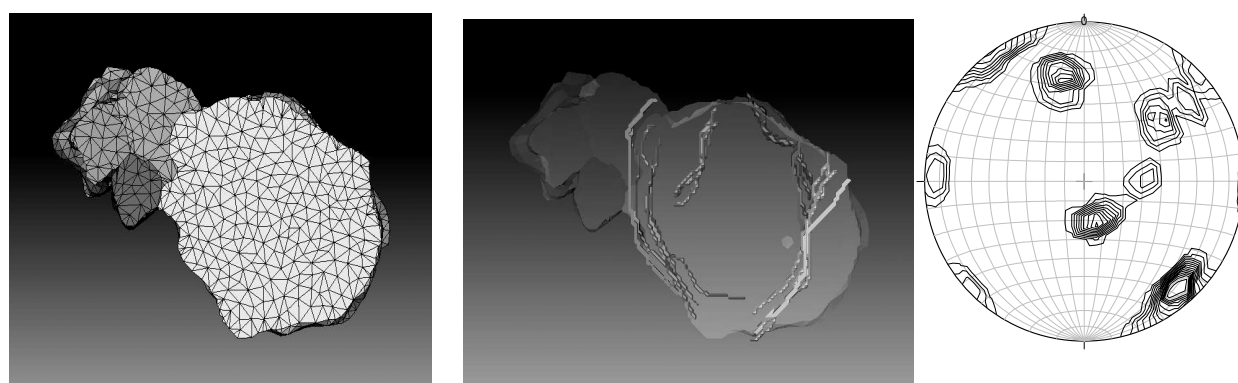


Б

**Рис. 1. Замер ориентировки главной оптической оси по нескольким зернам кварца:  
А – месторождение Кашина гора, Б – месторождение Пувашвара**



**Рис. 2. Объемная модель зерна кварца и трещин в зерне кварца, построенная по пакету слоев для образца 001 месторождения Кашина гора**



**Рис. 3. Объемная модель минерального агрегата, трещин в минеральном агрегате и круговая диаграмма макротрещиноватости расчистки Р-7 месторождения Пувашвара, где были отбораны образцы**

Рисунок 3 отчетливо показывает, что трещины ориентированы в основном по зерну кварца и по границе между кварцем и полевыми шпатами, простирания их изменяется с северо-западного на северо-восточное, а падения на северо-восток и северо-запад. Тяготение трещин к границам зерен является весьма показательным и подтверждает ранее известный факт – границы между зернами минералов представляют собой области с наибольшей концентрацией дефектов и вероятность возникновения трещин в межзерновой зоне оказывается наибольшей. При анализе ориентировки микротрещин в минеральных агрегатах и диаграммы макротрещиноватости расчистки месторождения обнаружены близкие элементы их ориентировки.

Такого рода исследования были проведены на материалах нескольких месторождений, результаты которых позволяют убедиться в том, что макроразрушения в массиве сопровождаются значительными микро-разрушениями, которые, накапливаясь в процессе деформирования горной породы, в зависимости от характеристики поля напряжений, при достижении предельных характеристик создают условия для роста макротрещины, которая распространяется в направлении близком к ориентировке структурных элементов в породе.