УДК 549.651.24

А.П. СИМАКОВ
Геолого-разведочный факультет, магистрант группы МГПМ-02

НАНОНЕОДНОРОДНОСТИ В ПЛАГИОКЛАЗАХ. ОСОБЕННОСТИ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ОТ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ МИНЕРАЛОВ

Исследованы порошки иризирующих и неиризирующих плагиоклазов (лабрадора и альбита) с использованием малоугловой рентгеновской камеры. Полученные кривые рентгеновского малоуглового рассеяния в координатах «интенсивность рассеяния» – «модуль вектора обратного пространства» в двойном логарифмическом масштабе обнаруживают ярко выраженную прямолинейную зависимость. Фрактальная размерность для данных кривых: $D = 2$. Это свидетельствует о том, что частицы исследованных порошков плагиоклазов обладают плоской поверхностью в широком интервале размеров от 10 до 150 нм. Предполагается, что при измельчении минералов разрушения происходят преимущественно по неким плоскостям. Аналогичная картина рассеяния наблюдается на порошках кварца: получена прямолинейная зависимость и фрактальная размерность $D = 2$. Предполагается, что данная особенность рассеяния рентгеновских лучей не связана со свойством спайности минералов.

Were investigated powders of iridescent and no iridescent plagioclases (labradorite and albite) with using small-angle X-ray camera. Obtained curves of small-angle X-ray scattering in coordinates «scattering intensity» from «module of inverse space vector» show striking expressed rectilinear dependence in a double logarithmic scale. Fractal parameter $D = 2$ for the curves of small-angle X-ray scattering. That investigated plagioclase powders have in wide dimension interval from 10 to 150 nm flat surface. It may be hypothesized, that during reduction in size of mineral destruction take place predominantly along same planes. The same characteristic properties of scattering take place during investigating quartz powder. Were obtained the same rectilinear dependence and same fractal parameter $D = 2$. Previously it may be hypothesized, then at features of scattering X-ray not depends on cleavage of minerals.

В 2004 г. для исследования нанонеоднородностей иризирующего лабрадора нами впервые был применен метод малоуглового рентгеновского рассеяния (МУР) [4]. В результате исследований тонких срезов иризирующего и неиризирующего лабрадора, ориентированных по {001}, в камере Кратки было зафиксировано анизотропное рассеяние, характерное только для иризирующих лабрадоров. Рассеяние наблюдалось под углами 1-5 мрад и уменьшалось с увеличением угла. Данный диапазон углов соответствует характеристическим размерам от 500 до 1500 Å.

На растровом электронном микроскопе-микроанализаторе JSM-6460LV фирмы «Jeol» (Япония) НОЦ СПГГИ (ТУ) были получены снимки поверхности спайности по {001} того же кристалла иризирующего лабрадора в режиме BSE (поверхность обрабатывалась кислотой по специальной методике [3]). На снимках четко фиксировались неоднородности размером порядка 2000 Å.

Неоднородности такого размера по теоретическим расчетам должны фиксироваться в камере Кратки под углами менее 1 мрад [1]. Интенсивность рассеяния рентгеновских лучей монолитными кристаллическими препаратами лабрадора оказалась недостаточной для четкого выделения полезного сигнала на столь малых углах [2]. Было решено использовать порошковые препараты.

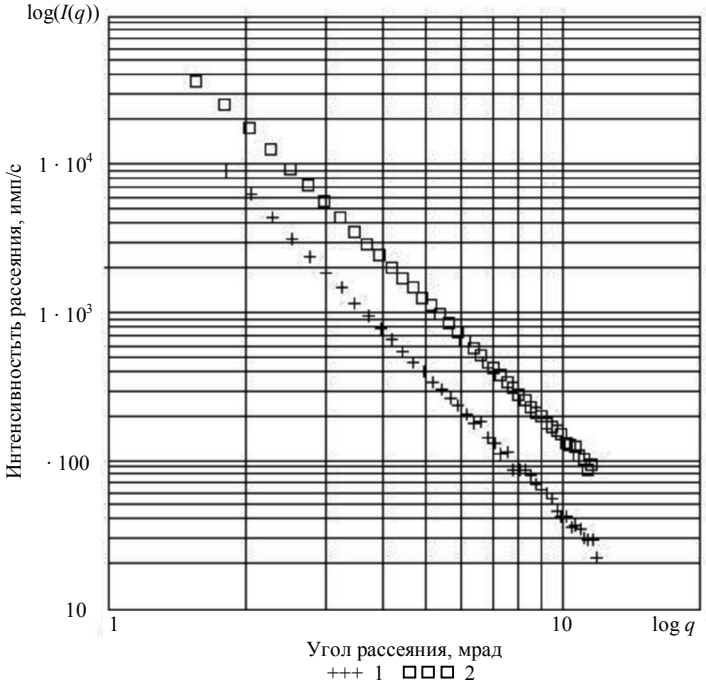


Рис.1. График рентгеновского малоуглового рассеяния в координатах log$I(q)$ от log$q$ альбита и иризирующего лабрадора

1 – иризирующий лабрадор; 2 – альбит

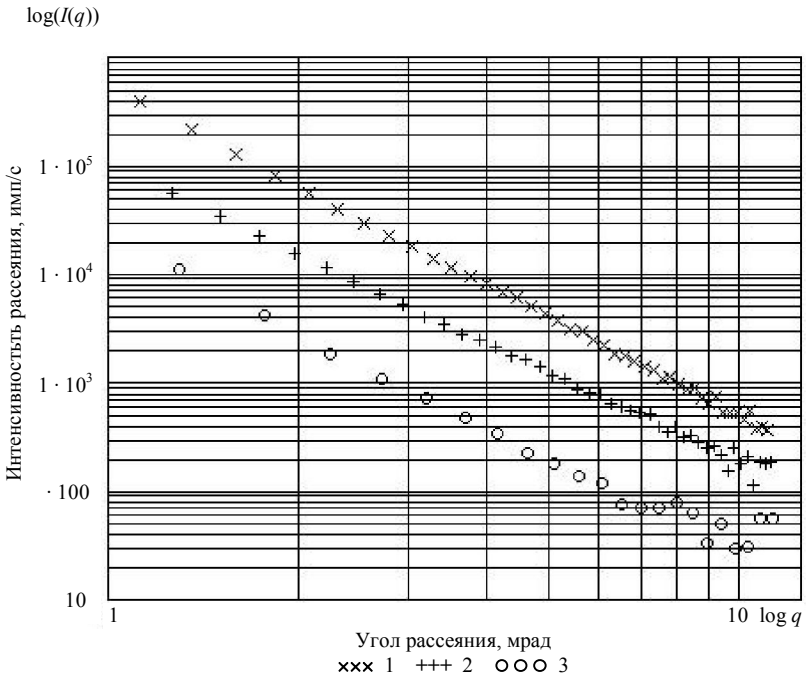


Рис.2. График зависимости рентгеновского малоуглового рассеяния в координатах log($I(q)$) от log$q$, фракционированных по размеру зерен порошковых препаратов альбита

1 – мелкая фракция (0;0,04] мм; 2 – средняя фракция (0,04;0,1] мм; 3 – крупная фракция (0,1;0,25] мм

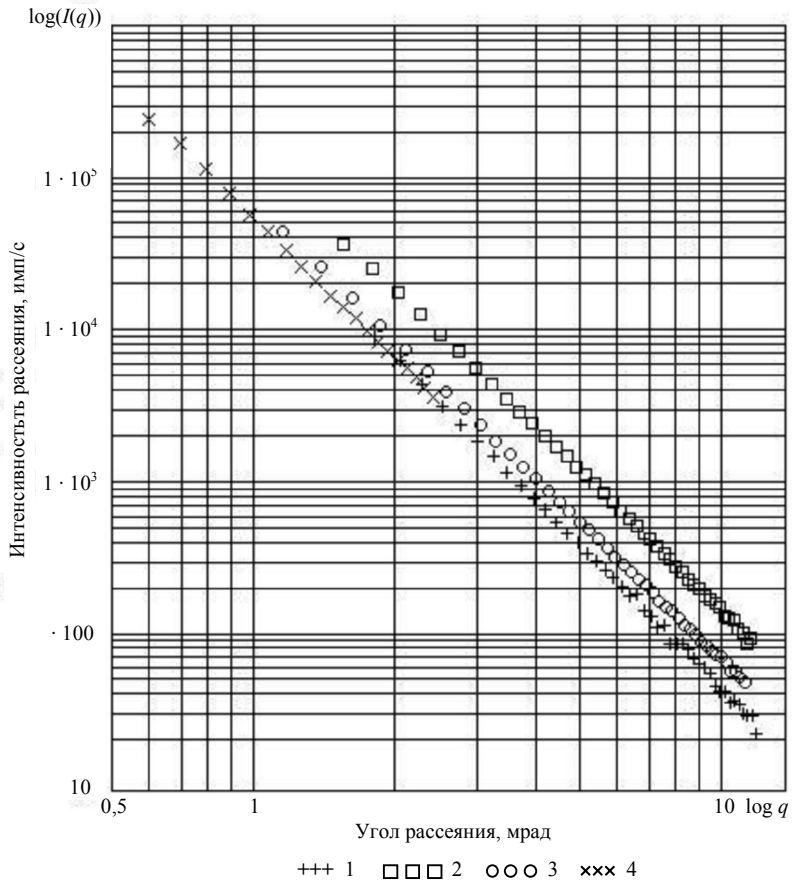


Рис.3. График зависимости рентгеновского малоуглового рассеяния в координатах log($I(q)$) от log$q$ порошков иризирующего лабрадора, альбита и кварца

1 – лабрадор; 2 – альбит; 3 – кварц; 4 – лабрадор на сверхмалых углах (искусственно совмещен по интенсивности с линией 1)

Для последующего сравнения были проанализированы порошки иризирующего лабрадора и альбита. Полученные кривые МУР в координатах log$I(q)$ от log$q$ ($I(q)$ – интенсивность рассеяния, q – модуль вектора обратного пространства) обнаружили ярко выраженную прямолинейную зависимость, наклон которой, как следует из теории, определяет фрактальную размерность D поверхности рассеивающего объекта (рис.1).

Полученное значение $D = 2$ свидетельствует о том, что исследованные порошки плагиоклазов обладают в широком интервале размеров (от 150 до 10 нм) плоской поверхностью. Справедливо предположить, что таким образом регистрируется рассеяние от границы «зерно порошка – вакуум камеры». Подтверждением этому является обратная зависимость между интенсивностью рассеяния и размером частиц порошка, выявленная при исследовании фракционированных по размеру частиц порошков альбита (рис.2). Другими словами, интенсивность рассеяния в этом случае пропорциональна суммарной площади поверхности частиц порошка минерала.

Далее исследования развивались в двух направлениях. Во-первых, было проведено измерение порошка иризирующего лабрадора под сверхмалыми углами. В результате на графике зависимости малоуглового рентгеновского рассеяния в двойном логарифмическом масштабе также проявилась прямолинейная зависимость log$I(q)$ от log$q$ со значением $D = 2$. Совмещение по интенсивности двух кривых малоуглового рентгеновского рассеяния иризирующего лабрадора графически подтвердило сопоставимость полученных данных (рис.3, линии 1, 2).

Во-вторых, было сделано предположение, что фиксируемые экспериментами плоские поверхности, ограничивающие зерна исследуемых порошков, связаны с совершенной спайностью исследуемых плагиоклазов. В качестве контрольного эксперимента была произведена съемка порошкового препарата минерала с весьма несовершенной спайностью – кварца. Полученный график малоуглового рентгеновского рассеяния в двойном логарифмическом масштабе обнаружил линейную зависимость, полностью аналогичную полученным при исследовании альбита и лабрадора (рис.3, линии 1-3).

Таким образом, в ходе исследования порошковых препаратов не удалось зафиксировать какие-либо внутренние неоднородности в кристаллах иризирующего лабрадора на нано- и микроуровне, что, однако, не говорит об их отсутствии.

Исследованные порошки минералов (иризирующего лабрадора, альбита и кварца) обладают в широком интервале размеров (от 150 до 10 нм) плоской поверхностью. Это свойство идентично для минералов с совершенной (плагиоклазы) и весьма несовершенной (кварц) спайностью. Естественно предположить, что при измельчении минералов в порошок все поверхности обломков кристаллов, отличные от плоских (например, сферические, раковистые у кварца), с изменением размера зерен «вырождаются» в плоскости.

Работа подготовлена при поддержке Американского фонда гражданских исследований и развития, Министерства образования и науки РФ и НОЦ-015 СПГГИ (ТУ).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасьев А.М.* Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев / А.М.Афанасьев, П.А.Александров, Р.М.Имамов. М.: Наука, 1989. 150 с.

2. *Бекренев А.Н.* Рассеяние рентгеновских лучей под малыми углами. Основы теории эксперимента / А.Н.Бекренев, Ю.С.Терминасов; Куйбышевский авиационный ин-т. Куйбышев, 1979. 85 с.

3. *Крамаренко Н.К.* Фазовый состав, пластинчатое строение и иризация плагиоклазов. Киев: Наукова думка, 1975. 108 с.

4. *Симаков А.П.* Опыт применения малоуглового рентгеновского рассеяния для выявления нанонеоднородностей в кристаллах иризирующего лабрадора. // Записки Горного института. СПб, 2006. Т.167 (1). С.292-294.

Научные руководители: д.г.-м.н. проф. М.А.Иванов, доц. В.Л.Федоров