

**Д.Е. Савельев**

Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

## К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМ СКОЛЬЖЕНИЯ В ОЛИВИНАХ ПО ПОРФИРОКЛАСТАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ EBSD-АНАЛИЗА

В работе рассмотрена последовательность определения системы трансляционного скольжения в порфирокластах оливина мантийных тектонитов, используя метод дифракции обратно-рассеянных электронов (EBSD). Определение ориентировок главных кристаллографических осей [100], [010], [001], границ полос излома и осей вращения производится автоматически средствами программ HKL Channel 5 либо MTEX. В работе приведен пример такого анализа и показано, что изучение порфирокластов является важным уточняющим методом, дополняющим статистические петроструктурные диаграммы.

*Ключевые слова:* EBSD, оливин, порфирокласт, трансляционное скольжение.

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2024.121**

Исследование внутренней структуры мантийных тектонитов имеет важное значение для расшифровки процессов пластического течения материала верхнемантийных диапиров, из которых были образованы так называемые «мантийные разрезы» офиолитовых комплексов [1, 7]. Традиционным методом изучения микроструктуры офиолитовых ультрамафитов являлся оптический с применением универсального Фёдоровского столика, методика которого описана в многочисленных руководствах [3, 5].

Одним из главных механизмов установившегося пластического течения (ползучести, или крипа) горных пород на глубинных уровнях коры и в мантии в условиях высоких температур и давлений является трансляционное скольжение [8], которое реализуется в разных кристаллических фазах путем активации определенных систем скольжения. Знание активной системы скольжения в материале позволяет путем сопоставления с экспериментальными данными, определить условия, в которых реализовалось пластическое течение (значения температуры, давления, стресса, содержания воды и др.).

Согласно критерию фон Мизеса, связанное течение кристаллического материала возможно при активизации пяти независимых систем скольжения, что редко может иметь место в силикатных минералах [2, 8]. В связи с этим, сохранение связности материала в глубинных геосредах, где невозможно образование разрывов, обычно поддерживается дополнительными механизмами, в частности, образованием полос излома (кинк-бандов) в крупных деформируемых зернах (порфирикластах). Именно анализ строения порфирикластов позволяет наиболее точно определять активную систему скольжения в данном минерале.

Методика определения системы скольжения в оливине, используя строение порфирикластов на универсальном столике, описана в работах различных исследователей [2, 6]. С появлением современного количественного метода изучения микроструктуры кристаллических материалов (EBSD) стало возможным более точное и менее трудоемкое исследование строения порфирикластов. Ниже приведен пример определения систем скольжения в оливине, используя порфирикласты из образца лерцолита массива Средний Крака.

Методика подготовки препаратов ультрамафитов для EBSD-анализа описана в предыдущей работе [4]. Здесь лишь укажем, что финишная обработка полированной поверхности проводилась на суспензии на основе аморфного кремнезема, съемка производилась в ЦКП «Структурные и физико-механические исследования материалов» в ИПСМ РАН (Уфа). В ходе съемки использовались следующие установки: преобразование Хафа — 40, идентификация фазы по количеству полос 5/6, Frame 4, увеличение  $\times 90$ , шаг сканирования 20 мкм.

Для определения системы трансляционного скольжения по строению порфирикласта необходимы следующие исходные данные, которые можно получить при обработке результатов EBSD-сканирования участка: ориентировка главных кристаллографических осей [100], [010], [001], ориентировка границы полосы излома и оси вращения кристаллической решетки. На рис.1 приведен пример изучения порфирикластов оливина из лерцолита массива Крака. Микроструктурные карты построена в цветовой кодировке «обратных полюсных фигур», на них видно, что зерна оливина удлинены в субширотном направлении и разделены субвертикально расположенными малоугловыми внутризеренными границами (полосами излома). По ориентировке главных кристаллографических направлений на круговых диаграммах можно видеть, что параллельно удлинению зерен и практически в плоскости изображения лежит ось [100] в обоих случаях. Из этого следует, что вероятнее всего данное направление является направлением трансляционного скольжения. Для

определения плоскости скольжения необходимо выявить оси вращения кристаллической решетки. Данная опция реализована в программах HKL Channel 5 и MTEX, причем это можно сделать как в координатах образца, так и в координатах кристаллической решетки исследуемого минерала. Оба решения представлены ниже (рис.).

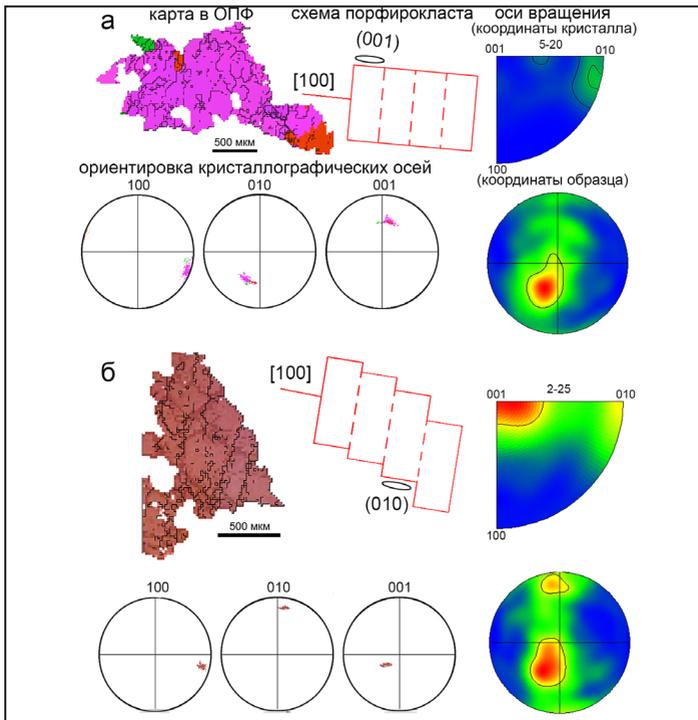


Рис. Определение основных направлений и системы скольжения в порфирикластах оливина при помощи метода EBSD и программного комплекса HKL Channel 5. Пояснения в тексте

По определению, ось вращения должна являться линией пересечения плоскости скольжения и плоскости границы полосы излома, которые имеют взаимно перпендикулярное расположение. Обычно выходы осей вращения трансируют плоскости границ полос излома. В случае зерна (а) максимум ориентировок осей вращения совпадает с [010], а в случае зерна (б) наиболее интенсивный максимум попадает на ось [001]. Это означает, что в случае зерна (а) система трансляционного скольжения имеет вид (001)[100], а в случае зерна (б) она имеет вид (010)[100].

Определение системы скольжения по строению порфирокластов является более точным по сравнению с анализом так называемых синоптических диаграмм, где мы имеем дело со статистической обработкой большого числа замеров ориентировок главных кристаллографических направлений. Изучение порфирокластов служит вспомогательным (уточняющим) методом, поскольку на статистические петроструктурные узоры могут оказывать влияние дополнительные механизмы эволюции микроструктуры, в частности, рекристаллизация.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00019, <https://rscf.ru/project/22-17-00019/>.*

#### *Библиографический список*

1. Денисова Е.А. Строение и деформационные структуры офиолитовых массивов с лерцолитовым типом разреза. Геотектоника, 1990, №2, с. 14–27.
2. Добержинецкая Л.Ф. Деформации магматических пород в условиях глубинного тектогенеза. М.: Наука, 1989. 288 с.
3. Казаков А.Н. Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов. Л.: Наука. 1987. 272 с.
4. Савельев Д.Е. К методике микроструктурного изучения ультрафиатов методом дифракции отраженных электронов (ДОЭ/EBSD) // Геологический вестник. 2023. №3. С. 36–48. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-4.
5. Саранчина Г.М., Кожевников В.Н. Фёдоровский метод (определение минералов, микроструктурный анализ). Л.: Недра. 1985. 208 с.
6. Щербаков С.А. Пластические деформации ультрабазитов офиолитовой ассоциации Урала. М.: Наука, 1990. 120 с.
7. Nicolas A., Bouchez J.L., Boudier F., Mercier J.C. Textures, structures and fabrics due to solid state flow in some European lherzolites. Tectonophysics, 1971, V.12, pp. 55–86.
8. Poirier J.-P. Creep of crystals. High-temperature deformation processes in metals, ceramics and minerals. Cambridge University Press, 1985. 287 p.

## ON THE METHOD OF ACTIVE SLIP SYSTEM DETECTION IN OLIVINE PORPHYROCLASTS BY EBSD

**D.E. Saveliev**

*savl71@mail.ru*

The paper examines the sequence of determining the slip system in olivine porphyroclasts of mantle tectonites using the electron backscatter diffraction (EBSD) method. Determination of the orientations of the main crystallographic axes [100], [010], [001], the boundaries of kink bands and rotation axes is carried out automatically using the HKL Channel 5 or MTEX programs. The paper provides an example of such an analysis and shows that the study of porphyroclasts is an important clarifying method that complements statistical pole figure diagrams.

*Key words: EBSD, olivine, porphyroclast, slip system.*