

УДК 553.086:549

В. П. КОМПАНЕЙЦЕВ

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗ ФЕДОРОВСКОГО СТОЛИКА

Предложен способ коноскопического измерения ориентировки оптической оси одноосных минералов, который рекомендуется для использования в микроструктурном анализе.

Универсальный столик Федорова не выпускается нашей промышленностью с середины 60-х годов и давно уже стал дефицитным. Это препятствует широкому внедрению в практику геологических исследований как собственно микроструктурного анализа в его традиционном виде, так и создаваемого на его основе нового перспективного направления геологической науки — тектонофациального анализа, разрабатываемого Е. И. Паталахой и его учениками [1]. Вот почему особое значение приобретает поиск новых, альтернативных способов измерения ориентировки оптической оси одноосных кристаллов.

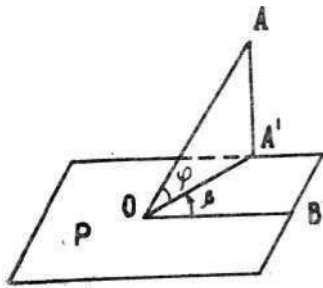


Рис. 1. Элементы ориентировки оптической оси: P — плоскость шлифа; OA — оптическая ось; OA' — проекция оптической оси на плоскость шлифа; OB — начало отсчета азимутальных углов; β — азимут наклона оптической оси; φ — угол наклона оптической оси к плоскости шлифа

Микроструктурный анализ основан на статистической обработке результатов массового измерения ориентировки оптической индикатрисы минеральных зерен в шлифах горных пород. Для одноосных минералов пространственная ориентировка оптической оси определяется двумя характеристиками: углом наклона ep оптической оси OA к плоскости шлифа и азимутальным углом β , отсчитанным от какого-либо начального направления OB , например от ребра шлифа, до проекции оптической оси на плоскость шлифа (рис. 1). Измерение азимутального угла не представляет большой трудности, так как проекции оптической оси соответствует одно из направлений погасания кристалла в скрещенных николях.

Для измерения угла наклона оптической оси можно использовать поведение (скорость смещения) коноскопической фигуры при враще-

нии столика микроскопа. В сечениях, перпендикулярных оптической оси ($\varphi = 90^\circ$), она неподвижна, т. е. не смещается и не уходит из поля зрения коноскопа. Если оптическая ось почти параллельна плоскости шлифа, то достаточно поворота столика на $1-2^\circ$, чтобы изогиря ушла из поля зрения коноскопа. Таким образом, чем меньше угол φ , тем выше скорость смещения изогиря и тем меньше тот критический угол поворота столика, при котором изогиря уходит из поля зрения коноскопа. Эта зависимость функциональная и выражается следующей формулой [2]:

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{D^2}{K^2 n^2 \sin^2 \alpha + D^2 \cos^2 \alpha}}, \quad (1)$$

где φ — угол наклона оптической оси; K — константа Малляра, определяемая для каждого микроскопа экспериментально; n — средний показатель преломления минерала; α — угол поворота столика микроскопа, при котором изогиря смещается от центра на D делений окуляра-микромметра.

Для коноскопического измерения ориентировки оптической оси чрезвычайно важное значение имеет тщательная настройка микроскопа. Опуская здесь обычные проверки, описание которых дано в инструкциях по эксплуатации микроскопов (центрировка объектива, установка николей в скрещенное положение и др.), остановимся на двух процедурах, имеющих особо важное значение: настройке освещения и центрировке коноскопа.

Для настройки освещения необходимо:

а) установить шлиф на предметный столик микроскопа и включить осветитель;

б) установить объектив 20^\times и сфокусировать микроскоп по шлифу;

в) полностью раскрыть апертурную диафрагму конденсора, убрать матовое стекло и, поднимая или опуская конденсор, добиться резкого изображения нити осветительной лампы на шлифе;

г) перемещая патрон вдоль оси, совместить изображение нити осветительной лампы с окулярным перекрестием;

д) установить сильный объектив (60^\times или 40^\times), с которым будет производиться работа, сфокусировать изображение и, перемещая патрон и вращая его вокруг оси, добиться слияния витков спирали осветительной лампы в сплошное светлое пятно;

е) включить линзы Бертрана и Лазо, сильно задиафрагмировать первую из них, полностью раскрыть диафрагму конденсора и, опуская или поднимая конденсор, добиться полного заполнения светом зрачка объектива (поля зрения коноскопа);

ж) сфокусировать линзу Бертрана по изображению зрачка объектива.

Центрировка коноскопа осуществляется в следующем порядке:

а) в тубус микроскопа устанавливают окуляр-микромметр;

б) в шлифе кварцсодержащей породы при небольшом увеличении находят зерно кварца с серой интерференционной окраской и помещают его в центр поля зрения;

в) вращением столика микроскопа добиваются погасания выбранного зерна в скрещенных николях и снимают отсчет по лимбу предметного столика;

г) устанавливают сильный объектив (40^\times или 60^\times), включают линзы Лазо и Бертрана, полностью раскрывают конденсорную диафрагму,

а диафрагму линзы Бертрана, напротив, закрывают почти до отказа и наблюдают коноскопическую фигуру, имеющую вид прямой балки (рис. 2, а);

д) комбинируя вращение центрировочных винтов линзы Бертрана и поворот окуляра-микрометра в тубусе микроскопа, добиваются совмещения одной из нитей окулярного креста с изогрией (см. рис. 2, б, в);

е) поворачивают столик микроскопа на 90° (используя при этом первый отсчет по лимбу предметного столика) и вновь наблюдают коноскопическую фигуру, которая имеет вид прямой балки, ориентированной перпендикулярно к балке в первом положении столика;

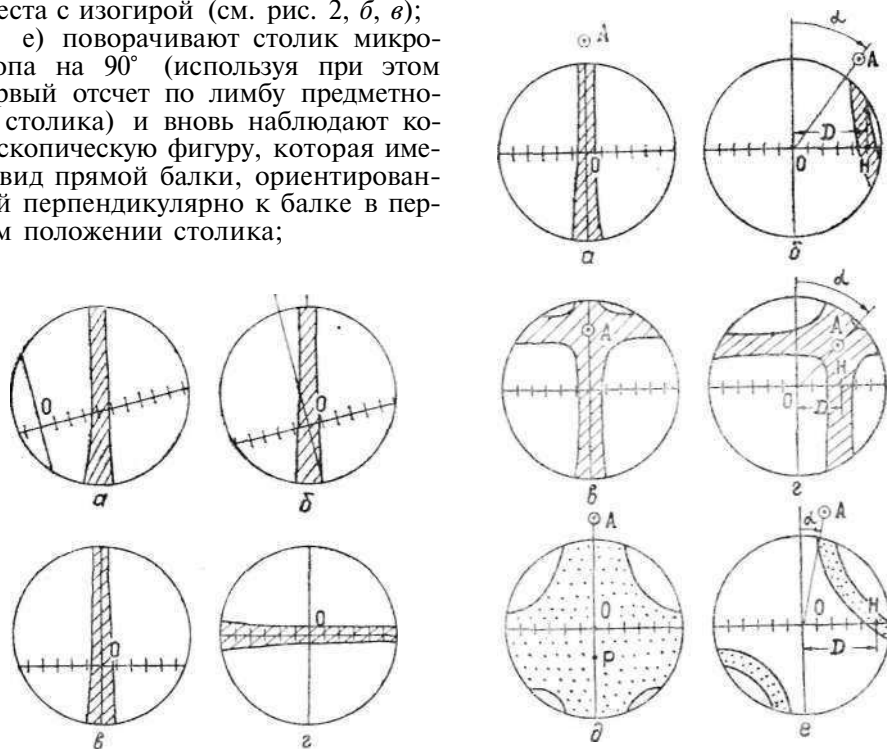


Рис. 2. Центрировка коноскопа. а — коноскопическая фигура одноосного минерала в положении погасания зерна (коноскоп сильно расцентрирован, нити окулярного креста не параллельны направлениям световых колебаний в николях); б — центрировочным винтом линзы Бертрана окулярное перекрестие O смещено вправо до совмещения с изогрией; в — поворотом окуляра-микрометра вокруг оси в тубусе микроскопа вертикальная нить окулярного креста совмещена с изогрией (показано стрелкой на б); г — поворотом столика микроскопа на 90° зерно минерала приведено во второе положение погасания, горизонтальная нить окулярного креста (с линейкой) центрировочным винтом линзы Бертрана совмещена с изогрией

Рис. 3. Измерение ориентировки оптической оси в косых (а, б), умеренно косых (в, г) и «сильно косых» (д, е) сечениях. а, в, д — коноскопическая фигура в исходном положении [в проходящем свете зерно погашено, выход оптической оси A находится на вертикальной нити окулярного перекрестия или на ее продолжении, если A за пределами поля зрения коноскопа (а, д)] б, г, е — коноскопическая фигура после поворота столика микроскопа на угол α (изогриа смещена вправо и пересекает шкалу окуляра-микрометра в точке H на расстоянии D делений от центра O)

ж) используя те же приемы (пункт д), но не вращая окуляр-микрометр, совмещают балку со второй нитью окулярного креста (рис. 2, з); з) проверяют еще раз совмещение балок с нитями окулярного креста и в случае необходимости делают дополнительную регулировку.

Коноскопический способ измерения ориентировки оптической оси одноосных минералов включает следующие операции:

1) при небольшом увеличении микроскопа находят зерно исследуемого минерала и смещают его в центр поля зрения;

2) устанавливают сильный объектив и наводят на резкость изображение зерна;

3) включают линзы Лазо и Бертрана и, диафрагмируя последнюю, добиваются максимальной четкости коноскопической фигуры (при убранном с осветителя матовом стекле);

4) вращением столика микроскопа совмещают изогипу с вертикальной нитью окулярного креста, учитывая при этом, что тонкий конец изогипы (рис. 3, а) или центр креста коноскопической фигуры (см. рис. 3, в) должны находиться на верхней части вертикальной нити окулярного креста;

4а) в зернах с максимальной интерференционной окраской эта операция выполняется по-другому: вращением столика микроскопа добиваются совмещения двух изогип (гипербол) в толстый расплывчатый крест, центр P которого должен быть на нижнем конце вертикальной нити окулярного креста (см. рис. 3, д);

5) снимают отсчет α_1 по лимбу предметного столика микроскопа, равный азимутальному углу β наклона оптической оси;

6) вращением столика микроскопа по часовой стрелке смещают изогипу вправо на D делений по шкале окуляра-микрометра (см. рис. 3, б, г, е) и снимают второй отсчет α_2 по лимбу предметного столика;

7) по формуле $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ рассчитывают угол α поворота столика;

8) по формуле (1) рассчитывают угол φ наклона оптической оси к плоскости шлифа.

Пример измерения ориентировки оптической оси коноскопическим способом. В зерне кварца замерены следующие данные: $\alpha_1 = 202,5$ — отсчет по лимбу столика микроскопа в положении погасания зерна (изогипа проходит через центр коноскопа, см. рис. 3, а); $\alpha_2 = 238,4$ — отсчет по лимбу столика микроскопа в положении, когда после поворота столика микроскопа на угол α изогипа сместилась вправо и пересекает шкалу окуляра-микрометра на расстоянии D делений шкалы от центра (см. рис. 3, б).

Микроскоп «Полам Р-111», объектив $60\times$, константа Малляра $K = 21,8$, средний показатель преломления кварца $n = 1,549$.

Рассчитываем угол поворота столика: $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 238,4 - 202,5 = 35,9^\circ$.

Азимутальный угол равен первому отсчету по лимбу столика микроскопа: $\beta = \alpha_1 = 202,5^\circ$. Угол наклона оптической оси рассчитываем по формуле (1):

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{15^2}{21,8^2 \cdot 1,549^2 \cdot \sin^2 35,9^\circ + 15^2 \cdot \cos^2 35,9^\circ}} = 0,646; \quad \varphi = 49,8^\circ.$$

Для ускорения расчетов φ можно построить номограммы.

Для микроструктурного анализа подготовлен специальный шаблон, с помощью которого результаты измерений в виде точек выносятся на стереографическую проекцию непосредственно, без расчета угла φ .

Изготовление шаблона. По формуле Малляра [3]:

$$\sin \delta = \frac{D}{nK}$$

рассчитываем δ — угол, соответствующий точке H , удаленной на D делении шкалы от центра O (см. рис. 3).

Пусть точка H находится на краю поля зрения коноскопа на расстоянии 15 делений шкалы от центра. Средний показатель преломления кварца $n = 1,549$, $K = 21,8$.

$$\sin \delta = \frac{15}{1,549 \cdot 21,8} = 0,444; \delta = 26,4^\circ.$$

Накладываем на стереографическую сетку кальку, проводим дугу большого круга (меридиан), соответствующую рассчитанному значению $\delta = 26,4^\circ$ (рис. 4). После этого поворачиваем кальку против часовой

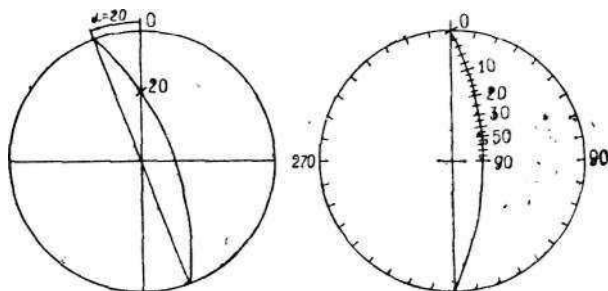


Рис. 4. Изготовление шаблона для выноса точек выхода оптических осей на микроструктурную диаграмму. a — построение точки на расчетном меридиане шаблона; b — готовый шаблон

стрелки на углы 1, 2, 4, 8, 10, 15, 20 и т. д. до 90° и в точках пересечения расчетного меридиана с нулевым меридианом на кальке делаем отметки и указываем около них углы α , равные углу поворота кальки.

Таким же образом изготавливаем шаблоны для $D = 10$ и 5 делений.

Для удобства пользования кальку с шаблоном следует наклеить на картон.

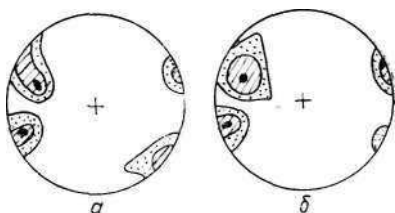
Пользование шаблоном. Подготовленную для выноса точек круговую диаграмму накладываем на шаблон так, чтобы ее начальный индекс совместился со значением α_2 на внешней окружности шаблона, находим на расчетном меридиане шаблона точку, равную α (в необходимых случаях используя интерполяцию), и отмечаем ее положение точкой на диаграмме. Эта точка соответствует следу оптической оси замеренного зерна на стереографической проекции.

Методика микроструктурного анализа. Устанавливаем на столик микроскопа препаратоводитель и укрепляем в нем шлиф. Препаратоводитель необходим для поиска зерен одноосного минерала по линиям, что предупреждает повторное измерение ориентировки оптической оси в одном и том же зерне. Измеряем максимальный размер зерен исследуемого минерала и намечаем расстояние между линиями, которое не должно превышать эту величину. Расстояние между линиями задаем первым винтом препаратоводителя. С помощью второго винта производим плавное перемещение шлифа с просмотром зерен, пересекающих окулярное перекрестие. Поиск и коноскопическое исследование зерен по методике, описанной ранее, ведут с одним и тем же сильным объективом. Если зерно мелкое, то, используя оба винта препаратоводителя, центр зерна нужно вывести на окулярное перекрестие с последующим

обязательным возвратом к первоначальной отметке по шкале первого винта. Для мелких зерен требуется сильное диафрагмирование линзы Бертрана.

В заключение остановимся на сравнительной характеристике федоровского и коноскопического методов измерения ориентировки оптической оси. Главным преимуществом федоровского метода является возможность измерения в любых по размеру зернах минерала, лишь бы они были ясно различимы и давали четкую интерференционную окраску (без наложения зерен друг на друга). При коноскопическом исследова-

Рис. 5. Микроструктурные диаграммы ориентировки оптической оси в зернах кварца в одном и том же шлифе гранита, построенные по данным измерений, полученным: *а* — коноскопическим, *б* — федоровским методом



нии ясные фигуры получают при размере зерен не менее 0,05 мм. При дальнейшем снижении размера зерен коноскопическая фигура становится расплывчатой и при размере менее 0,02 мм измерение вообще невозможно. Таким образом, коноскопический метод не рекомендуется для тонкозернистых пород, а для мелко-, средне- и крупнозернистых он дает хорошие результаты.

Преимуществом коноскопического метода помимо того очевидного факта, что отпадает необходимость в дополнительном приборе — федоровском столике, является простота измерительных операций: достаточно снять два отсчета по лимбу столика микроскопа, в то время как установка зерна в положение темноты на федоровском столике требует значительно больше операций.

Сравнение точности обоих методов свидетельствует о том, что погрешности измерения для них примерно одинаковые, о чем можно судить, сопоставляя диаграммы ориентировки оптических осей зерен кварца в одном и том же шлифе, построенные по данным коноскопии и федоровского столика (рис.5).

Затраты времени на массовый замер ориентировки оптических осей коноскопическим методом в одном шлифе зависят от структуры: для мелкозернистых пород они такие же, как и при использовании федоровского столика, для средне- и крупнозернистых — в 1,5–2 раза меньше.

Таким образом, по основным характеристикам — точности и производительности — коноскопический метод не уступает федоровскому и может быть рекомендован для использования в микроструктурном анализе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паталах Е. И., Лукиенко А. И., Дербенев В. А. Тектонофаши мезозоны. Атлас микроструктур. Алма-Ата, 1987. 187 с.
2. Компанейцев В. П. Способ коноскопического измерения ориентировки оптической оси одноосных минералов. А. с. 15662208 СССР. Заявлено 26.09.88. Опубл. 23.05.90. Бюл. № 19.
3. Татарский В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод. М., 1965. 306 с.