

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАРЦА В КАЧЕСТВЕ РЕФРАКТОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ПЛАГИОКЛАЗОВ В ШЛИФАХ

### THE USE OF QUARTZ AS REFRACTOMETR TO DETERMINE THE COMPOSITION OF PLAGIOCLASE IN THIN SECTION

Метод определения показателя преломления минералов по эталонному минералу (минералу-индикатору), используемому в качестве рефрактометра, был предложен К. Шпангербергером в конце XIX в. [1]. Он заключался в том, что исследуемый минерал погружают в иммерсионную жидкость и добавлением к ней жидкости с другим показателем преломления достигают исчезновения полосы Бекке. Затем производилось измерение показателя преломления смешанной иммерсионной жидкости с помощью минерала-индикатора с известными  $n_g$  и  $n_p$ . Для этой цели пригодны карбонаты, имеющие высокое двупреломление. Поворотом столика добиваются равенства показателя преломления минерала-индикатора и жидкости. По углу поворота столика рассчитывают показатель преломления минерала-индикатора и, следовательно, жидкости и исследуемого кристалла.

Суть предлагаемого в настоящей статье метода заключается в отказе от промежуточной среды – иммерсионной жидкости и в прямом наблюдении за полоской Бекке на границе кварц – плагиоклаз. При вращении столика происходит изменение показателей преломления этих минералов и достигается их равенство, определяемое по исчезновению полосы Бекке.



Рис. 1. Сравнение показателей преломления кварца и плагиоклазов № 15 – 45.

Выбор кварца в качестве минерала-индикатора обусловлен его широким распространением в горных породах в ассоциации с плагиоклазом, особенно в кислых магматических породах (граниты и гранодиориты), а также в средних (кварцевые диориты) и даже в основных (кварцевые габбро) породах. Кварц устойчив к вторичным изменениям и отличается постоянством химического состава и оптических свойств. В отличие от карбонатов, он имеет низкое

двупреломление, что резко сужает область его применения в качестве минерала-индикатора. Но этот «недостаток» компенсируется удачным перекрытием диапазонов показателей преломления кварца и плагиоклазов № 15 – 45 (рис. 1).

### Теоретическое обоснование метода

Оптическая индикатриса анизотропного кристалла в любом сечении дает эллипс (рис. 2) или, как частный случай, окружность.

Чтобы выявить зависимость показателя преломления от направления световых колебаний в кристалле, используем параметрическое уравнение эллипса:

$$x = n_p \sin \omega; y = n_g \cos \omega. \quad (1)$$

В этом уравнении угол  $\omega$  измеряется от длинной оси эллипса  $n_g$ , совмещенной с осью  $Y$  (с главным сечением поляризатора). Если эллипс повернуть на  $90^\circ$ , так чтобы его короткая ось совпала с осью  $Y$ , то уравнение будет иметь следующий вид:

$$x = n_g \sin \omega; y = n_p \cos \omega. \quad (2)$$

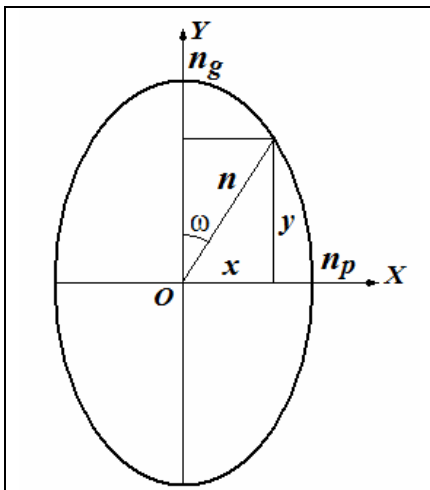


Рис. 2. Разрез оптической индикатрисы анизотропного кристалла.

Величина показатель преломления  $n$  при повороте столика на угол  $\omega$  определяется как гипотенуза прямоугольного треугольника с катетами  $x$  и  $y$  и рассчитывается по формуле

$$n = \sqrt{n_g^2 \cos^2 \omega + n_p^2 \sin^2 \omega} . \quad (3)$$

Для эллипса, ориентированного горизонтально, формула для расчета  $n$  имеет следующий вид:

$$n = \sqrt{n_g^2 \sin^2 \omega + n_p^2 \cos^2 \omega} . \quad (4)$$

Применительно к одноосному кварцу в формулах (1-4)  $n_g$  соответствует показателю преломления необыкновенного луча  $n_e$ ,  $n_p$  – обыкновенного луча  $n_o$ . В дальнейшем мы будем использовать обозначения  $n_g$  и  $n_p$  как для плагиоклаза, так и для одноосного кварца.

Для определения угла поворота столика  $\omega$ , при котором исчезает полоска Бекке на границе зерен кварца и плагиоклаза, рассмотрим позицию, в которой оси  $n_g$  кварца и плагиоклаза

взаимно перпендикулярны, и, следовательно, оси  $n_g$  и  $n_p$  этих минералов совпадают (рис. 3, а). При повороте столика против часовой стрелки на угол  $\omega$  направление  $On$  будет совмещено с направлением световых колебаний в поляризаторе. Точка пересечения эллипсов  $n$  является общей для кварца и плагиоклаза, что указывает на равенство показателей преломления этих минералов. Зная  $n_g$  и  $n_p$  кварца и угол поворота столика  $\omega$ , можно по формуле (3) рассчитать показатель преломления  $n$ , который относится к обоим минералам. Однако прямое использование  $n$  и  $\omega$  для определения состава плагиоклаза затруднительно. Для этого пришлось бы, используя итерационный метод, подставлять в формулу (4) значения  $n_g$  и  $n_p$  плагиоклазов разного состава, подгоняя полученный результат под рассчитанное значение  $n$ .

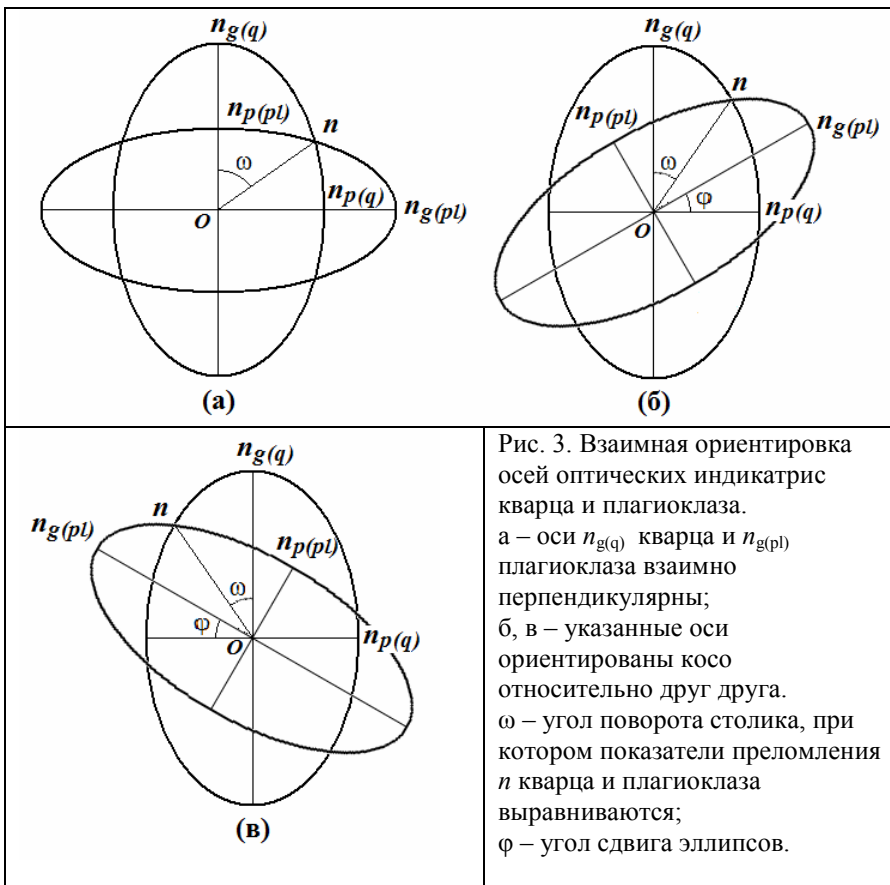


Рис. 3. Взаимная ориентировка осей оптических индикатрис кварца и плагиоклаза. а – оси  $n_{g(q)}$  кварца и  $n_{g(pl)}$  плагиоклаза взаимно перпендикулярны; б, в – указанные оси ориентированы косо относительно друг друга.  $\omega$  – угол поворота столика, при котором показатели преломления  $n$  кварца и плагиоклаза выравниваются;  $\phi$  – угол сдвига эллипсов.

При косой взаимной ориентировке эллипсов показателей преломления кварца и плагиоклаза (рис. 3, б, в) последний в начальной позиции уже повернут на некоторый угол  $\phi$ , т. е. по сравнению с кварцем он имеет опережающую «фору». Назовем этот угол углом сдвига в ориентировке эллипсов.

Расчет показателя преломления плагиоклаза с учетом угла сдвига производится по формуле

$$n = \sqrt{n_p^2 \sin^2(\omega + \phi) + n_g^2 \cos^2(\omega + \phi)}$$

## Диаграммы для определения состава плагиоклаза

Определение состава плагиоклаза может быть упрощено, если использовать графический метод решения задачи с помощью диаграмм  $\omega - \Delta$  (рис. 4, 5).

### 1. Диаграмма $\omega - \Delta$ для определения состава плагиоклаза на стыке зерен кварца и плагиоклаза с наивысшей интерференционной окраской.

Для построения диаграммы (рис. 4) использована зависимость показателя преломления кварца  $n$  от угла поворота столика  $\omega$ . Во всех сечениях кварца присутствует наименьший показатель преломления  $n_p = 1,5443$ . Наибольший показатель преломления в косых сечениях может быть определен по формуле

$$n_g' = n_p + \Delta,$$

где  $\Delta$  – двупреломление кварца, определяемое с учетом интерференционной окраски и наблюдений в коноскопе за формой, расположением и поведением изогиры при вращении столика (см. таблицу). Расчет  $n$  производился по формуле (3). Зависимость  $n$  от угла поворота  $\omega$  отображается в виде пучка кривых, сходящихся в одну точку в правом нижнем углу диаграммы.

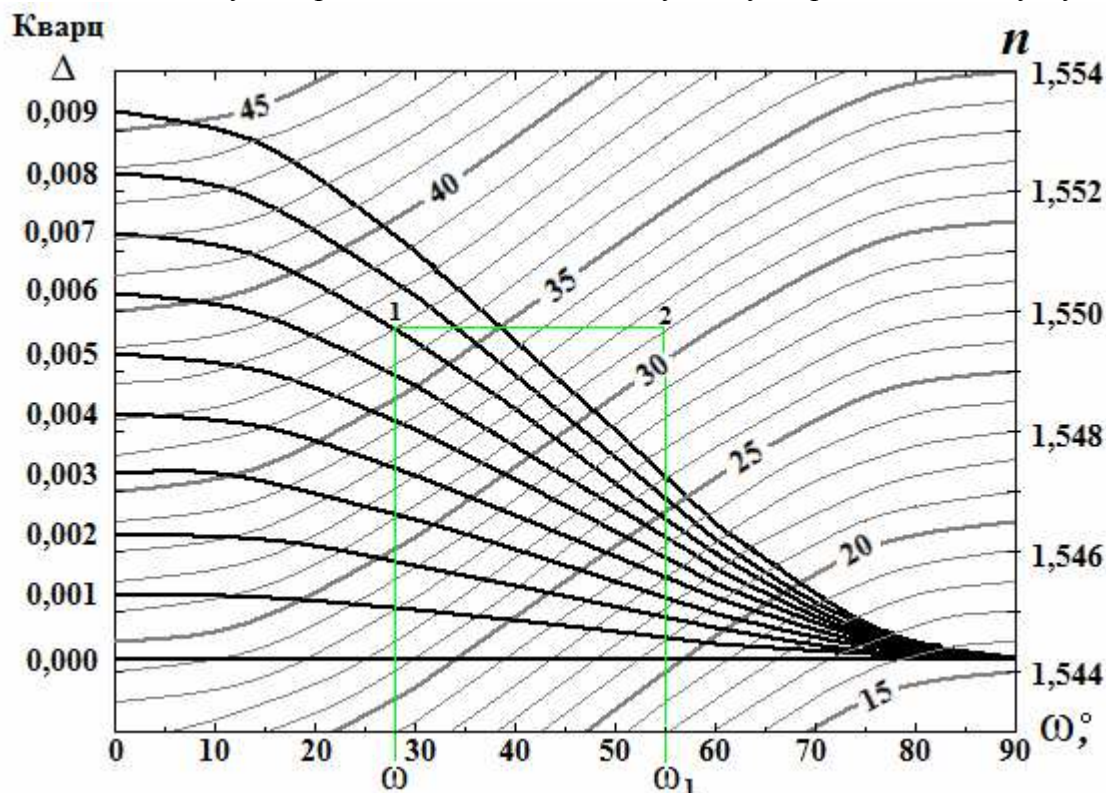


Рис. 4. Диаграмма для определения состава плагиоклаза по углам поворота столика  $\omega$  и двупреломлению кварца  $\Delta$  для сечений плагиоклаза с максимальной интерференционной окраской.

Расчет точек для построения кривых, характеризующих зависимость  $n$  плагиоклаза от угла  $\omega$ , произведен по формуле (4). Показатели преломления  $n_g$  и  $n_p$  плагиоклазов различного состава взяты из справочника [2].

Диапазон определяемых номеров плагиоклаза от 15 до 45.

## 2. Диаграмма $\omega - \Delta$ для определения состава плагиоклаза на стыке зерен кварца и плагиоклаза в изотропном сечении.

Построение диаграммы (рис. 5) произведено путем наложения на пучок кривых кварца, таких же, как и на рис. 4, горизонтальных линий, положение которых определяется значением показателя преломления  $n_m$  плагиоклаза определенного состава.

Диапазон определяемых номеров плагиоклаза от 22 до 40 при условии, что кварц имеет максимальное двупреломление. При снижении этого показателя происходит быстрое уменьшение верхней границы диапазона. Например, для  $\Delta = 0,004$  он равен 30, для  $\Delta = 0,002$  - 25. Нижняя граница диапазона, равная 22, остается постоянной при любых значениях  $\Delta$  кварца.

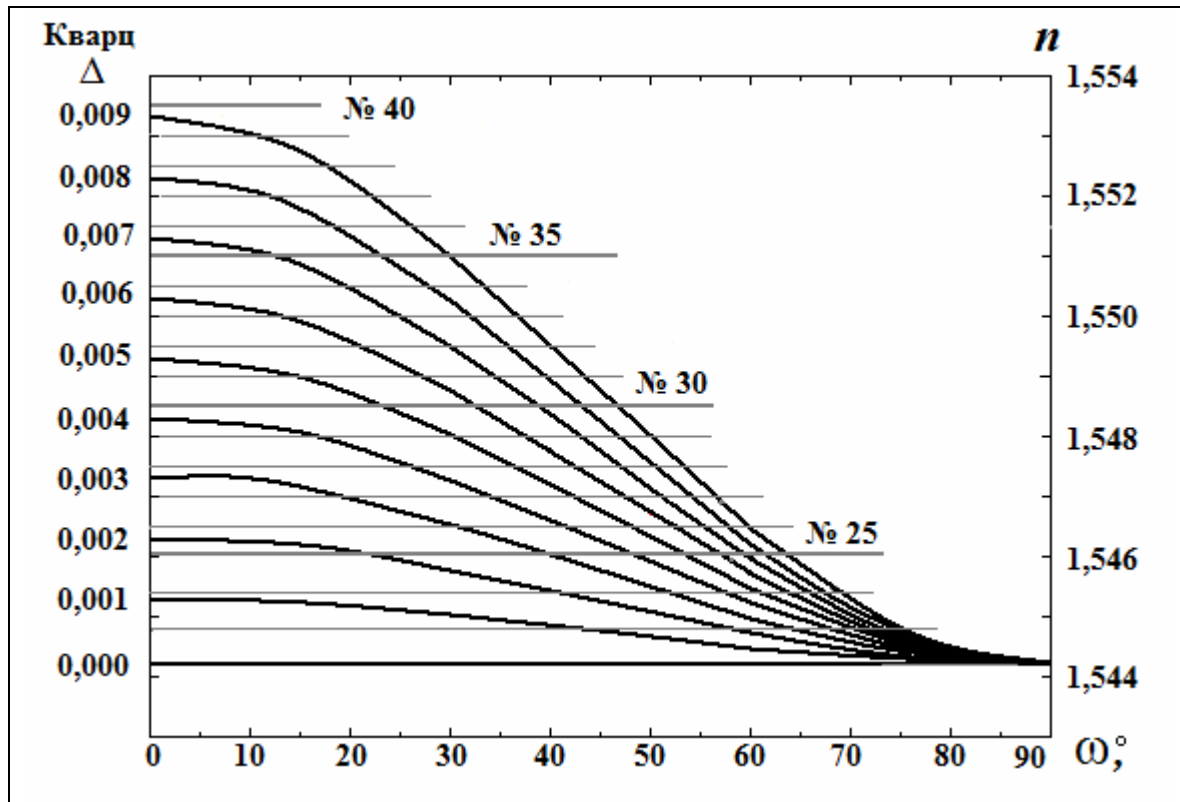


Рис. 5. Диаграмма  $\omega - \Delta$  для определения состава плагиоклаза по исчезновению полоски Бекке на стыке зерен кварца и изотропного сечения плагиоклаза.

## Практическое руководство к определению состава плагиоклаза

### Подбор зерен кварца и плагиоклаза.

В любом сечении кварца как одноосном минерале присутствует минимальный показатель преломления  $n_p = 1,5443$ . Максимальный показатель преломления кварца  $n_g = 1,5533$ , максимальное двупреломление  $\Delta_{\max} = n_g - n_p = 0,009$ . В косых сечениях максимальный показатель преломления меньше и равен  $n_g' = n_p + \Delta = 1,5443 + \Delta$ . Двупреломление  $\Delta$  можно с достаточной точностью определить, руководствуясь признаками, приведенными ниже в таблице.

Таким образом, для использования кварца в качестве минерала-индикатора пригодны любые сечения. Однако предпочтение следует отдавать зернам с высокой интерференционной окраской, расширяющие диапазон определяемых номеров плагиоклазов.

В отличие от кварца, для измерений пригодны только ориентированные сечения плагиоклазов:

- 1) зерна с максимальной интерференционной окраской, в которых присутствуют показатели преломления  $n_g$  и  $n_p$ ;
- 2) изотропные сечения, в которых при любом угле поворота столика показатель преломления постоянный и равен  $n_m$  плагиоклаза.

## 1. Кварц + плагиоклаз с максимальной интерференционной окраской.

Самый благоприятный случай для этого сочетания сечений кварца и плагиоклаз – взаимно перпендикулярно ориентировка осей эллипса  $n_g$  кварца и плагиоклаза (рис. 2, а). Зерна кварца и плагиоклаза должны погасать одновременно, при одном и том же повороте столика. Гаснуть одновременно зерна кварца и плагиоклаза могут одновременно и при параллельной ориентировке  $n_g$  кварца и плагиоклаза, поэтому требуется проверка осей с помощью кварцевой пластинки.

Установив  $n_g$  кварца параллельно вертикальной нити окулярного креста, вращают столик на некоторый угол  $\omega$  до исчезновения полоски Бекке на границе зерен кварца и плагиоклаза, что указывает на равенство  $n$  обоих минералов. На рис. 2, а этой позиции соответствует точка пересечения эллипсов.

Чтобы избежать сложных вычислительных процедур, для определения номера плагиоклаза составлена диаграмма (рис.4). На ней показаны кривые зависимости показателя преломления кварца и плагиоклазов различного состава в зависимости от угла поворота столика  $\omega$ . Расчет производился по формулам (3) для кварца и (4) для плагиоклаза. Значения  $n_g$  и  $n_p$  плагиоклазов заимствованы из справочника [2]. Точки пересечения кривой кварца с кривыми плагиоклазов зависят от состава последних и служат для графического определения номера плагиоклаза. На диаграмме видно, что для рассматриваемого случая возможно определение состава плагиоклаза в довольно широком интервале – от №15 до № 45.

Для определения угла  $\varphi$  необходимо в скрещенных николях с помощью кварцевой пластинки найти  $n_g$  кварца и совместить это направление с вертикальной нитью. Зерно кварца при этом окажется в позиции темноты. Затем, вращая столик по часовой или против часовой стрелки, устанавливают зерно плагиоклаза в ближайшее положение погасания и проверяют с кварцевой пластинкой. Угол  $\varphi$  определяют по разности отсчетов позиций погасания кварца.

### Определение показателей преломления кварца в косых сечениях.

Кварц в сечении, параллельном плоскости оптических осей, имеет следующие показатели преломления:  $n_p = 1,5442$ ,  $n_g = 1.5533$ , двупреломление  $\Delta = 0,0091$ .

В косых сечениях кварца, как одноосного минерала,  $n_p$  остается постоянным, а  $n_g$  уменьшается по мере увеличения наклона оптической оси.

Наклон оптической оси определяется ее полярным углом  $\rho_A$ .

Полярный угол – это угол между оптическими осями кварца и микроскопа. При  $\rho_A = 0^\circ$  мы наблюдаем изотропное сечение, в котором  $\Delta = 0$ . При  $\rho_A = 90^\circ$  оптическая ось параллельна плоскости столика микроскопа,  $n_g$  и имеют максимальное значение  $\Delta = 0.009$ .

Определить  $n_g'$  в косых сечениях можно, если известно двупреломление  $\Delta$ :

$$n_g' = n_p + \Delta. \quad ()$$

Самый простой, но недостаточно точный способ – определение двупреломления по интерференционной окраске в скрещенных николях.

Хорошие результаты для оценки этого показателя дает коноскопический метод, в котором учитывается ширина изогирь и угол ее пробега в поле зрения коноскопа. Чем сильнее наклонена оптическая ось, тем шире изогиря и меньше угол пробега в поле зрения.

Под углом пробега  $\omega_{пр}$  понимается угол поворота столика, при котором изогиря появляется в поле зрения, проходит по нему и покидает его.

Достаточно подробное описание критериев определения двупреломления кварца в сечениях с различным наклоном оптической оси приведено в таблице. Далее мы приводим только пояснения к ней.

Таблица

**Определение двупреломления кварца по интерференционной окраске, форме и углу пробега изогир через поле зрения коноскопа**

Двупреломление $\Delta = n_g - n_p$	Показатель преломления, $n_g$	Полярный угол оптической оси $\rho_A, ^\circ$	Интерференционная окраска в шлифе толщиной 0,03 мм	Угол пробега изогир, $\omega_{пр}, ^\circ$	Отношение длины отрезков, отсекаемых изогирой на нитях окулярного креста при $\omega = 45^\circ$	Дополнительная характеристика изогир
0,009	1,5533	90-76 (90)	Бледно-желтый	22 - 35		Широкий крест, центр которого заполняет все поле зрения. При $\rho_A = 85^\circ$ около меток $M_1$ и $M_2$ появляется просветление. При дальнейшем уменьшении $\rho_A$ изогир превращается в широкую «метлу». Край нижнего конца «метлы» в зависимости от $\rho_A$ находятся в интервалах « $M_1$ – правый конец горизонтальной нити» и « $M_2$ – левый конец горизонтальной нити» (помечены зелеными дужками на рис. а).
0,008	1,5523	76-66 (71)	Чисто белый	35 - 48		Изогир становится более узкой. Край нижнего конца «метлы» располагаются в интервалах «правый конец нити – $M_4$ (немного не доходя до нее)» и «левый конец нити – $M_3$ (немного не доходя до нее)» (рис. б).
0,007	1,5513	66-58 (62)	Светло-серый	48 – 60		Край нижнего конца «метлы» колеблются в узком интервале вблизи меток $M_3$ и $M_4$ (рис. в).
0,006	1,5503	58-51 (55)	Серый	60 - 74		Край нижнего конца «метлы» колеблются в узком интервале вблизи меток $M_3$ и $M_4$ (рис. в).
0,005	1,5493	51-45 (48)	Синева-серый	74 - 90		Край нижнего конца «метлы» опускаются ниже меток $M_3$ и $M_4$ , но не достигают середины дуг « $M_3$ – нижний конец вертикальной нити» и « $M_4$ – нижний конец вертикальной нити» (рис. г).
0,004	1,5483	45-39 (42)		-		Край нижнего конца «метлы» находятся вблизи середины дуг « $M_3$ – нижний конец вертикальной нити» и « $M_4$ – нижний конец вертикальной нити» (рис. д). Характерный признак: при $\omega = 45^\circ$ в поле зрения показываются края обеих балок креста; вторая сторона их при этом не видна (рис. е). Изогир не уходит из поля зрения при вращении столика.
0,003	1,5473	39-32 (35)	Лилово-серый	-	от 6 : 1 до 2,5 : 1	Оптическая ось находится вне поля зрения, вблизи его края (рис. ж). В отличие от рис. е здесь видна вторая сторона балок креста.
0,002	1,5463	32-24 (28)	Темно-серый	-	от 2,5 : 1 до 1 : 1	Оптическая ось находится в поле зрения, вблизи его края. Балки креста интерференционной фигуры отсекают на нитях около 1/3 радиуса поля зрения.
0,001	1,5453	24-14 (19)	Железно-серый, черный	-	от 1 : 1 до 1 : 2	Оптическая ось в поле зрения. Балки креста отсекают на нитях около 1/2 радиуса поля зрения коноскопа.
0,000	1,5443	14-0		-	менее 1 : 2	Центр креста интерференционной фигуры совпадает с центром поля зрения, либо удален от него на расстояние не более 1/3 радиуса поля зрения.

**Примечания:** 1) описание используемых в таблице терминов, таких как *метка*, *полярный угол*, *радиус поля зрения коноскопа* можно найти в «[Словаре терминов](#)» на этом сайте;  
 2) цифра в скобках в третьем столбце таблицы указывает на значение полярного угла  $\rho_A$  оптической оси кварца, которое было использовано для компьютерного воспроизведения изогиры на рис. 6.

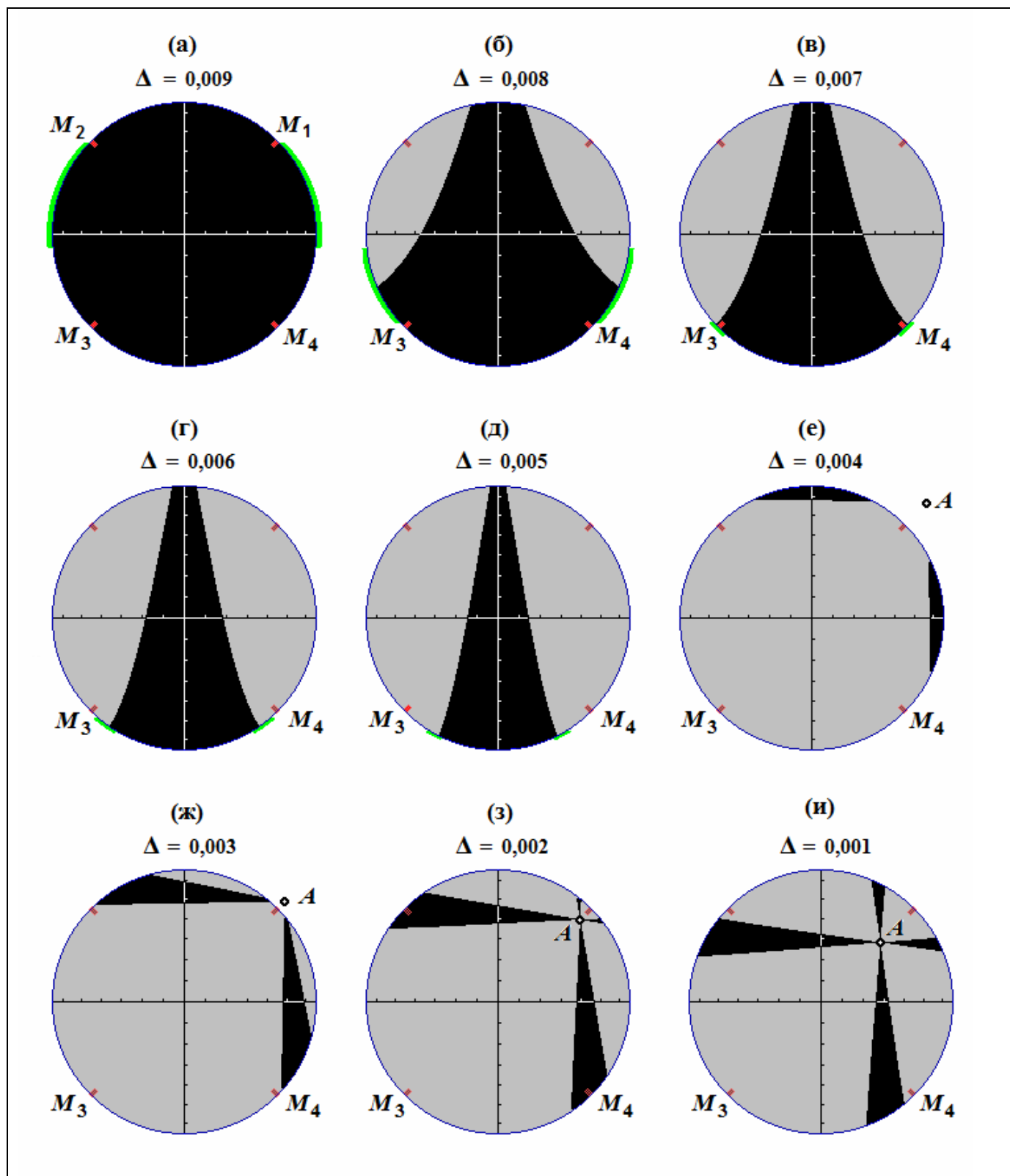


Рис. 6. Связь двупреломления кварца с формой изогиры и ее положением в поле зрения коноскопа. а – д – зерна кварца в позиции погасания; е – и – в позиции максимального просветления при повороте столика на  $45^\circ$ . А – оптическая ось кварца;  $\Delta$  – двупреломление;  $M_{1-4}$  – метки. Зеленым цветом помечены дуги на краю поля зрения, в пределах которых должны находиться концы боковых ограничений изогиры.

Для косых сечений с  $\Delta = 0,005 - 0,009$  хороший результат в оценке двупреломления дает определение угла пробега изогирь. В сечениях с  $\Delta = 0,000 - 0,004$  этот способ не применим, так как изогиря не покидает поле зрения при любом угле поворота столика. Для них рекомендуется использовать соотношение длин отрезков, отсекаемых изогирей **после поворота столика на  $45^\circ$**  от позиции темноты.

Поясним этот параметр. В таблице приведены соотношения длин отрезков, отсекаемых изогирей на нити креста (не имеет значения на горизонтальной или вертикальной нити). Например, если в таблице указано соотношение 1 : 2, то это означает, что расстояние от центра до точки пересечения в 2 раза меньше, чем расстояние от этой точки до края поля зрения.

## 2. Кварц + изотропное сечение плагиоклаза.

Это простой случай для поиска подходящей пары кварц – плагиоклаз. Достаточно найти темное изотропное зерно плагиоклаза, граничащее с кварцем. В таком зерне плагиоклаза при любом угле поворота столика показатель преломления равен  $n_m$ . Двупреломление кварца может быть любым, но при соблюдении обязательного условия -  $n_m$  должен быть внутри интервала  $n_g' - n_p$  кварца.

Так как в изотропном сечении оптическая индикатриса имеет круговое сечение, понятие угла сдвига  $\omega$  между эллипсами в данном случае теряет смысл. Для определения угла  $\omega$  достаточно установить зерно кварца в исходную позицию, в которой ось  $n_g$  параллельна вертикальной нити, и повернуть столик часовой или против часовой стрелки до исчезновения полоски Бекке на границе кварц – плагиоклаз. Обычно в изотропных сечениях ось  $n_m$  не строго перпендикулярна к плоскости шлифа, из-за чего углы  $\omega$ , отсчитанные при противоположных направлениях поворота столика могут, отличаться. В таком случае следует среднее значение между ними.

Определение состава плагиоклаза с использованием диаграммы (рис. 5) настолько просто, что не требует каких-либо пояснений.

### Пошаговая инструкция к определению состава плагиоклаза.

1. Выбираем подходящую пару соседних зерен плагиоклаза и кварца. Плагиоклаз должен иметь максимальную интерференционную окраску. Двупреломление кварца может быть любым, но предпочтение нужно отдавать зернам с повышенной интерференционной окраской.

2. Устанавливаем кварц на темноту и с помощью кварцевой пластинки проверяем принадлежность направления световых колебаний к оси  $n_g$ . Если она не подтвердится, поворотом столика на  $90^\circ$  устанавливаем зерно на вторую темноту.

3. Снимаем по лимбу столика отсчет  $N_0$ . Вращаем столик **против часовой стрелки** до наступления темноты в плагиоклазе и проверяем ее связь с  $n_g$ . При этом возможны два случая:

а) темнота плагиоклаза связана с осью  $n_g$  (как на рис. 3, б);

б) темнота связана с осью  $n_p$  (как на рис. 3, в).

В первом случае повторно, с максимальной точностью устанавливаем зерно плагиоклаза на темноту и по лимбу столика снимаем отсчет  $N_1$ .

Во втором случае возвращаем столик в исходную позицию и вращением столика по **часовой стрелке** устанавливаем плагиоклаз на темноту и снимаем по лимбу столика  $N_1$ .

4. Рассчитываем угол  $\alpha$  между осями  $n_g$  кварца и плагиоклаза по формуле

$$\alpha = |N_1 - N_0|$$

Во внимание принимаем только абсолютное значение  $\alpha$  (отбрасываем знак «минус»). Значение  $\alpha$  должно быть менее  $90^\circ$ . Если  $\alpha > 90^\circ$ , то это указывает на ошибку при выборе направления вращения столика.

5. Определяем угол «сдвига»  $\varphi$ :

$$\varphi = 90^\circ - \alpha$$



6. Вращая столик между  $N_0$  и  $N_1$ , находим позицию, в которой исчезает полоска Бекке на границе кварца и плагиоклаза. Снимаем отсчет по лимбу  $N_2$  и рассчитываем угол  $\omega$ :

$$\omega = |N_2 - N_0|.$$

7. Находим действительное значение угла поворота столика для плагиоклаза:

$$\omega_p = \omega + \varphi.$$

**Примечание.** Сумма  $\omega + \varphi$  не должна превышать  $90^\circ$ . Несоблюдение этого условия возможно по двум причинам: ошибкой при расчете угла сдвига  $\varphi$  или неточной установкой столика в положение исчезновения полоски Бекке.

На этом работа с микроскопом заканчивается. Переходим к диаграмме (рис. 4).

7. Используя критерии, описанные в таблице, определяем двупреломление кварца. На диаграмме находим точку пересечения кривой, соответствующей двупреломлению кварца, с вертикальной линией, идущей от точки на оси абсцисс со значением  $\omega$  (точка 1 на рис. 4). Если  $\varphi = 0$ , то по этой точке нужно найти проходящую через нее изолинию с соответствующим номером плагиоклаза и тем самым определить его состав.

8. Если  $\varphi > 0^\circ$ , то от точки 1 проводим горизонтальную линию до пересечения с вертикальной линией  $\omega = \omega_p$  (точка 2). По положению этой точки определяем номер плагиоклаза.

*Пример.* На соседних зернах кварца и плагиоклаза с максимальной интерференционной окраской замерены следующие исходные данные:

двупреломление кварца  $\Delta = 0,007$ ;

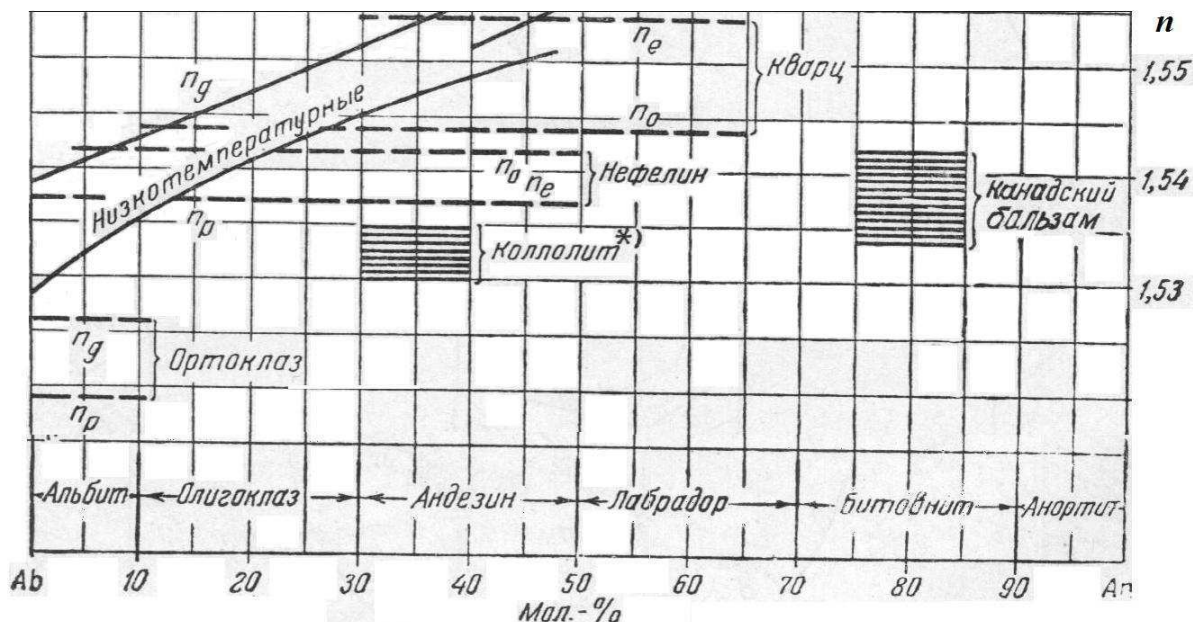
угол между осями  $n_g$  кварца и плагиоклаза  $\alpha = 63^\circ$ ;

угол сдвига эллипсов  $\varphi = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 63^\circ = 27^\circ$ ;

угол поворота столика, при котором исчезает полоска Бекке  $\omega = 28^\circ$ ;

действительное значение угла поворота столика для плагиоклаза  $\omega_p = \omega + \varphi = 27 + 28 = 55^\circ$ .

На диаграмме находим точку пересечения кривой, соответствующей двупреломлению  $\Delta = 0,007$  кварца, с вертикальной линией, идущей от точки на оси абсцисс со значением  $\omega = 28^\circ$  (точка 1 на рис.). Далее от точки 1 проводим горизонтальную линию до пересечения с вертикальной линией  $\omega_p = 55^\circ$  (точка 2). Как видно на диаграмме, эта точка соответствует плагиоклазу № 31.



\* В СССР употребляется пихтовый бальзам и канифоль с таким показателем преломления. Прим. ред.

Рис. 7. Сравнение показателей преломления плагиоклазов с канадским бальзамом и коллоидитом. (Часть диаграммы оптических свойств плагиоклазов из справочника В. Е. Трёгера [3]).

## Заключение

Рассматриваемый метод имеет ограниченные возможности определения состава плагиоклаза. Он применим только для кварцсодержащих пород при условии, что плагиоклаз не кислее альбита № 15 и не более основной, чем андезин № 45. Тем не менее, в ряде случаев он имеет преимущества перед часто используемым методом определения состава плагиоклаза по максимальному углу погасания в зоне  $\perp(010)$  (метод Мишель-Леви). Например, при исследовании состава плагиоклаза во вкрапленниках, количество которых в шлифах бывает недостаточным для определения максимального угла погасания.

Второй случай, когда использование кварца в качестве рефрактометра позволяет снять проблему метода Мишель-Леви – это разграничение плагиоклазов по знаку максимального угла погасания. Плагиоклаз № 20 имеет нулевой угол максимального погасания. Принято считать, что все плагиоклазы с номером, большим 20, дают положительные углы погасания, менее 20 – отрицательные. Их разграничение производится сравнением показателя преломления  $n_p$  с канадским бальзамом, у которого  $n = 1,54$ . Однако действительные значения  $n$  канадского бальзама могут опускаться до 1,534, что соответствует  $n_p$  плагиоклаза № 5 (рис. 7). Это дает основания усомниться в правильности определения знака угла погасания.

Используемые в России в качестве клея при изготовлении шлифов канифоль или пихтовый бальзам, одинаковые по показателю преломления с коллолитом, вообще не пригодны для отличия плагиоклазов с отрицательными и положительными углами погасания. Их показатель преломления колеблется от 1,53 до 1,535. Первое значение соответствует  $n_p$  плагиоклаза № 2, второе - № 10. Игнорирование этого обстоятельства может привести к грубым ошибкам. Например, плагиоклаз № 10 из-за неправильной оценки знака может быть определен как плагиоклаз № 30.

**Примечание.** Канифоль получают путем очистки сосновой живицы от влаги, скипидара, механических и других примесей. Показатель преломления канифоли не регламентируется ГОСТом, в связи с чем возможны его значительные колебания. Можно самостоятельно определить этот показатель, отщипнув кусочек канифоли, обычно выступающий из-под покровного стекла шлифа, для исследования в иммерсии.

Рассматриваемый в настоящей статье метод дает возможность определять плагиоклазы с отрицательными углами погасания № 15 – 20. Более кислые плагиоклазы могут быть определены по методу Мишель-Леви с контролем поведением полоски Бекке на границе кварц-плагиоклаз: она должна при любых поворотах столика указывать на более высокий показатель преломления кварца.

И последнее: все изложенное в этой статье – чисто теоретическая разработка. Автор будет признателен тем читателям, которые проверят ее на практике и сообщат мне свои отзывы и замечания.

## Литература

1. Наковник Н. И. Иммерсионный метод в применении к петрографическим шлифам. Гос. научно-техническое изд-во литературы по геологии и охране недр. М., 1957 г. 42 с.
2. Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. Перевод с англ. М., ИЛ, 1953. 501 с.
3. Трёгер В. Е. Таблицы для оптического определения порообразующих минералов. Перевод с немецкого. Гос. научно-техническое изд-во литературы по геологии и охране недр. М., 1958 г. 165 с.

*Статья загружена на сайт 19 сентября 2017 г.*