

**Определение в коноскопе угла  
оптических осей и  
ориентировки оптической  
индикатрисы кристаллов**

**Метод «засечек»**

**Руководство  
пользователя**

**2011 г.**

# Содержание

Пояснения к используемым терминам .....	3
Подготовка микроскопа.....	5
Определение угла оптических осей и ориентировки оптической индикатрисы .....	7
1. Поиск сечений кристалла, пригодных для измерения угла оптических осей .....	7
2. Установка выбранного кристалла в исходную (стандартную) позицию .....	7
3. Выбор пересечения изогиры с меткой .....	8
4. Совмещение изогиры с метками .....	9
5. Расчет углов совмещения .....	9
6. Проверка (контроль) результатов расчета $2V$ и ориентировки оптической индикатрисы .....	10
7. Нанесение оптических осей и элементов симметрии оптической индикатрисы на стереографическую проекцию .....	11
Приложение А. Пошаговые инструкции к коноскопическим программам.....	12
1. Программы определения в коноскопе угла оптических осей и ориентировки оптической индикатрисы кристаллов по методу «засечек» .....	13
2. Программа «Воспроизведение изогиры на экране монитора по координатам оптических осей» .....	14
3. Программа «Воспроизведение на экране монитора «нулевой» изогиры» .....	16
Приложение Б . Классификация бесцветных минералов по показателю преломления .....	16

## Пояснения к используемым терминам

Прежде чем приступить к чтению руководства, следует ознакомиться с используемыми терминами и их буквенными обозначениями.

**Метод «засечек».** Так назван разработанный автором метод определения в коноскопе угла оптических осей и ориентировки оптической индикатрисы. В косых сечениях прямое измерение угла  $2V$  по методу Малляра невозможно, так как оптические оси находятся вне поля зрения коноскопа. Следовательно, требуется определить ориентацию оптических осей по тем характеристикам изогирь, которые могут быть измерены в поле зрения коноскопа. Эта задача сходна с определением координат недоступного объекта путем измерения углов с двух пунктов с известными координатами, решаемая в геодезии способом «засечек». В коноскопии аналогичная задача также может быть решена «засечками» - измерением углов поворота столика, при которых происходит совмещение изогирь с тремя точками в поле зрения коноскопа. Зная углы поворота и координаты точек, можно аналитическим путем рассчитать координаты оптических осей и таким образом определить величину угла между ними.

**Сферические координаты.** Для определения пространственной ориентировки оптических осей и элементов симметрии оптической индикатрисы используются сферические координаты (полярная система координат) в сочетании с прямоугольными координатами. Оси прямоугольных координат  $X$  и  $Y$  совпадают с нитями окулярного креста, ориентировка которых соответствует направлениям световых колебаний в николях (рис.1).

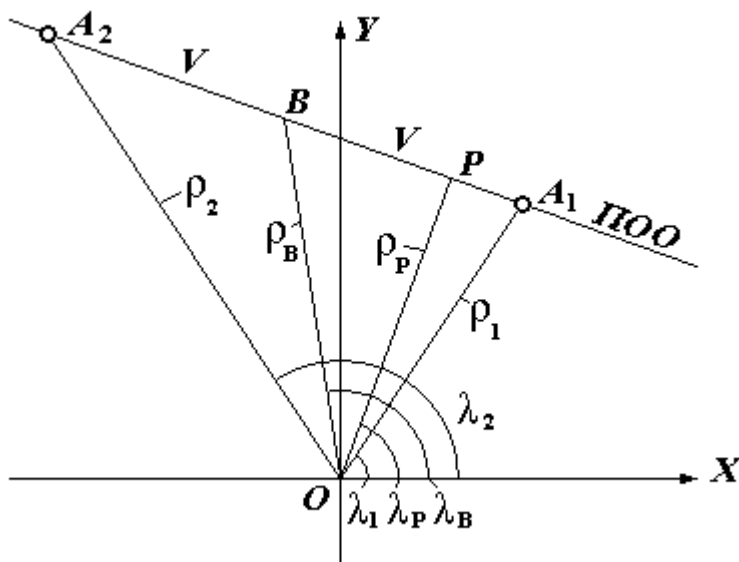


Рис. 1. Сферические координаты оптических осей  $A_1$  и  $A_2$ , плоскости оптических осей  $P$  (ПОО) и биссектрисы  $B$  угла оптических осей в косом сечении двусосного кристалла (гномоническая проекция).  $\rho$  – полярный угол;  $\lambda$  – долгота.

Полус сферических координат совмещен с центром  $O$  прямоугольных координат. За нулевой

меридиан принята положительная полуось  $X$ . Ориентация каких-либо направлений, например, оптических осей  $A_1$  и  $A_2$ , определяется их сферическими координатами: полярными углами  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  и долготами  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , отсчитанными от нулевого меридиана. Долготы  $\lambda$  считаются положительными, если они отмерены в направлении против часовой стрелки (от 0 до  $180^\circ$ ), и отрицательными, если в противоположном направлении (от 0 до  $-180^\circ$ ). Зная координаты оптических осей, можно графически или расчётным путём определить ориентировку оптической индикатрисы: сферические координаты плоскости оптических осей (ПОО) –  $\rho_p$ ,  $\lambda_p$  и биссектрисы  $B$  угла оптических осей –  $\rho_B$ ,  $\lambda_B$ .

**Угловой радиус поля зрения коноскопа** ( $\rho_k$ ) – полярный угол края поля зрения коноскопа, зависящий от апертуры  $A$  объектива и показателя преломления кристалла. Он рассчитывается по формуле

$$\sin \rho_k = A/n,$$

где  $n$  – средний показатель преломления кристалла, равный  $(n_g + n_m + n_p) / 3$ .

**Исходные позиции оптических осей.** Для расчёта углов поворота столика необходимы исходные позиции – своего рода реперы, от которых производятся отсчеты.

*Стандартная позиция оптических осей* – одно из четырех положений погасания кристалла (в параллельном свете), при котором ближняя оптическая ось  $A_1$  находится в 1-м квадранте. (Нумерация квадрантов показана на рис. 3). При этом возможны два варианта нахождения дальней оптической оси  $A_2$ : выше оси  $X$  (рис. 2, а) – стандартная позиция А (СПА) или ниже (рис. 2, б) – стандартная позиция Б (СПБ).

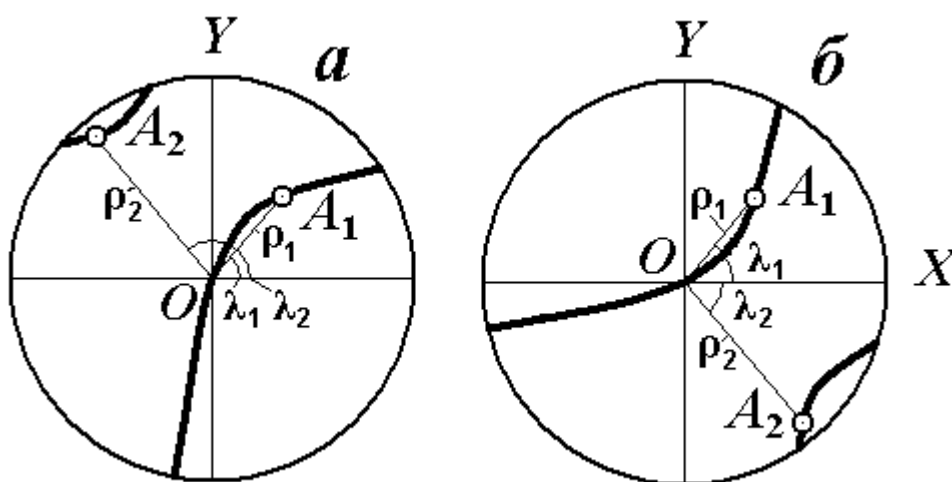


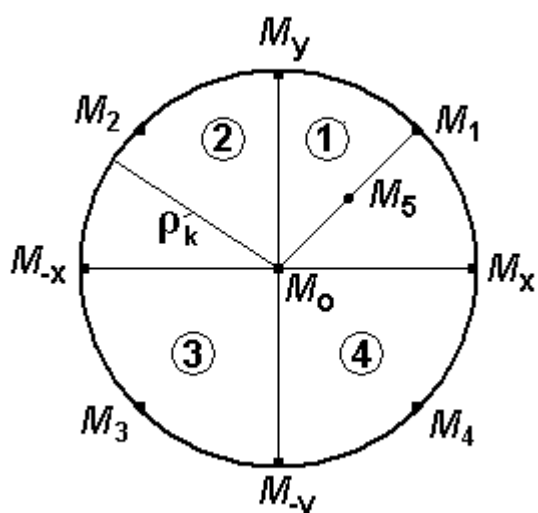
Рис.2. Стандартные позиции оптических осей.

$A_1$  – ближняя оптическая ось;  $A_2$  – дальняя оптическая ось;  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – полярные углы оптических осей;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – долготы оптических осей.

Изогира в стандартной позиции, пересекая центр  $O$ , проходит из 1-го в 3-й квадрант. Узкий, менее подвижный конец изогиры должен находиться в 1-м квадранте. Если стандартная позиция выбрана правильно, то при вращении столика по часовой стрелке изогира перемещается от центра вправо.

Долготы оптических осей в стандартной позиции связаны следующими зависимостями:  $\lambda_1 = 180^\circ - \lambda_2$  (СПА);  $\lambda_1 + \lambda_2 = 0$  (СПБ).

**Метки** – точки в поле зрения коноскопа с известными координатами. В качестве меток используются окулярное перекрестие ( $M_0$ ), точки пересечения нитей окулярного креста с краем поля зрения (осевые метки  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_{-x}$  и  $M_{-y}$ ) и точки на границе поля зрения (диагональные метки  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$ ), равноудаленные от нитей креста (рис. 3). Кроме того, для некоторых сечений, в которых невозможно использовать диагональные метки, потребуется дополнительная необозначенная метка  $M_5$ , выделяемая визуально путем глазомерного деления линии  $M_0M_1$  пополам.



В метках  $M_{1-4}$  нижние индексы указывают на номер квадранта, в которых они находятся. Чтобы обозначить их, нужно слегка приподнять объектив, повернуть его на  $45^\circ$  и опустить, так чтобы винт-фиксатор оказался в специально предназначенном для этой цели гнезде в корпусе тубуса.

Рис. 3. Метки.

Таблица 1  
Сферические координаты меток

Метки	Сферические координаты меток		Угол совмещ. изогирь с меткой
	$\rho$	$\lambda$	
$M_0$	0	0	$0^\circ$
$M_1$	$\rho_k$	$45^\circ$	$\omega_1$
$M_5$	$\arcsin(A/2)$	$45^\circ$	$\omega_5$
$M_x$	$\rho_k$	$0^\circ$	$\omega_x$
$M_{-x}$	$\rho_k$	$180^\circ$	$\omega_{-x}$
$M_y$	$\rho_k$	$90^\circ$	$\omega_y$
$M_{-y}$	$\rho_k$	$-90^\circ$	$\omega_{-y}$

Сферические координаты меток и обозначения углов совмещения с ними изогирь приведены в таблице 1.

«Нулевая изогиря». Используемое в методе «засечек» гномоническое уравнение отображает изогирю как линию третьего порядка. Это так называемая «нулевая» изогиря, все точки которой теоретически имеют нулевую интенсивность света. В действительности же мы ее не видим, так как

человеческий глаз воспринимает изогирю в виде некоторой плоской геометрической фигуры, внутри которой проходит «нулевая» изогиря. Форму и местоположение «нулевой» изогирь в зависимости от координат оптических осей можно наблюдать на экране монитора с помощью программы ее воспроизведения (Приложение А, программа 3).

**Угол совмещения изогирь с меткой** - угол поворота столика, отсчитанный от стандартной позиции, необходимый для совмещения изогирь с меткой. Углы совмещения обозначаются буквой  $\omega$  с соответствующим нижним индексом, например,  $\omega_3$  для метки  $M_3$ ,  $\omega_{-x}$  для метки  $M_{-x}$ .

### Подготовка микроскопа

Для работы с коноскопом большое значение имеет тщательная юстировка микроскопа. Опуская обычные проверки и регулировки, описание которых дано в руководствах по эксплуатации микроскопов, остановимся на двух процедурах, от которых зависит точность измерений в коноскопе: настройке освещения и центрировке коноскопа.

**Настройка освещения.** От настройки освещения зависит четкость изогри. При правильной настройке освещения изображение источника света должно находиться в плоскости шлифа.

Для осветителя микроскопа наиболее подходящими являются лампы с колбой из матового или молочно-белого стекла, дающие равномерное мягкое освещение. При их отсутствии перед лампой с прозрачной колбой следует поставить пластинку из матового стекла.

Для настройки освещения необходимо:

- а) установить шлиф на предметный столик, включить осветитель и с объективом  $20^{\times}$  сфокусировать микроскоп по шлифу;
- б) не удаляя шлиф, полностью раскрыть апертурную диафрагму конденсора и, поднимая и опуская конденсор, и, при необходимости, перемещая патрон лампочки, добиться резкого изображения источника света (точек, царапин на колбе лампочки);
- в) установить объектив  $60^{\times}$  и при включенных линзах Бертрана и Лазо, проверить полностью ли заполнено светом поле зрения коноскопа. Если заполнение неполное, то необходимо сдвинуть патрон лампочки в ту или иную сторону и повторить настройку.

**Центрировку коноскопа** следует производить по одноосному минералу (например, кварцу). Для этого подбирают зерно минерала с углом наклона оптической оси  $35-50^{\circ}$ . Такие сечения отличаются малой скоростью перемещения изогри при вращении столика. Угол поворота столика, при котором изогри проходит через все поле зрения, должен быть не менее  $60^{\circ}$ . Для определения момента максимальной темноты используют способ точной установки на погасание, который обеспечивает точность от  $0,5^{\circ}$  до  $1,5^{\circ}$ . Для этого в параллельном свете из позиции «темноты» слегка вращают столик сначала в одном направлении, затем в противоположном и фиксируют начало просветления зерна, каждый раз снимая отсчёт по лимбу столика. Повторив несколько раз, рассчитывают среднее значение отсчета  $N_0$ , устанавливают по нему столик и в сходящемся свете наблюдают изогри, которая должна совпадать с нитью окулярного креста не только в центре, но и по всей её длине (рис. 4, а).

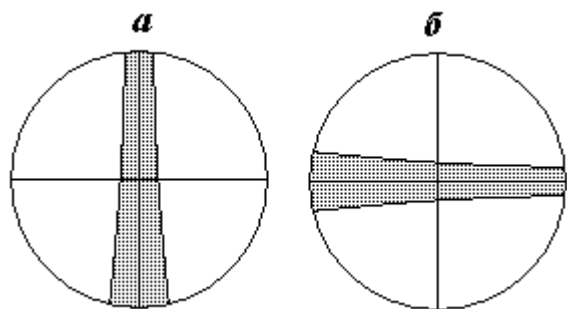


Рис. 4. Симметричное положение изогри одноосного кристалла относительно нитей окулярного креста в правильно отцентрированном коноскопе.

а – изогри в позиции погасания кристалла совмещена с вертикальной нитью окулярного креста;

б – изогри совмещена с горизонтальной нитью окулярного креста (после поворота на  $90^{\circ}$ )

При несоблюдении этого условия, вращая центрировочные винты на линзе Бертрана, совмещают изогри с нитью. Повернув столик на  $90^{\circ}$ , проверяют, совпадает ли изогри с другой нитью окулярного креста и, при необходимости, таким же образом производят совмещение изогри с этой нитью окулярного креста (рис. 4, б).

**Требования к качеству шлифов.** Грубая обработка шлифов при их изготовлении – основная причина низкого качества интерференционных фигур, наблюдаемых в коноскопе. Особенно она пагубна для минералов с высоким показателем преломления, криволинейные неровности на поверхности которых вызывают сильное светорассеяние, засвечивающее и понижающее контраст коноскопической картины. Поэтому необходимо контролировать соблюдение технологии изготовления шлифов, предусматривающей постепенный переход от грубых абразивных порошков к более тонким. Это касается прежде всего нижней стороны шлифа, которая, в отличие от верхней стороны, не выравнивается в процессе доводки до нужной толщины. Можно заказать специальные

шлифы с двусторонней полировкой. Они дают высококачественное изображение изогирь даже для низкодвупреломляющих минералов.

## **Определение угла оптических осей и ориентировки оптической индикатрисы**

Процесс определения угла оптических осей и ориентировки оптической индикатрисы производится в следующей последовательности:

1. Поиск сечений кристалла, пригодных для измерения угла оптических осей.
2. Установка выбранного кристалла в исходную (стандартную) позицию.
3. Выбор пересечения изогирь с меткой.
4. Совмещение изогирь с метками.
5. Расчет углов совмещения.
6. Проверка (контроль) результатов расчета  $2V$  и ориентировки оптической индикатрисы.
7. Нанесение оптических осей и элементов симметрии оптической индикатрисы на стереографическую проекцию.

### **1. Поиск сечений кристалла, пригодных для измерения угла оптических осей.**

Метод «засечек» пригоден для любых сечений кристаллов. Однако сильно косые сечения не желательны из-за больших погрешностей определения  $2V$ . Предпочтение следует отдавать слабо косым сечениям (одна из оптических осей находится в поле зрения коноскопа) и умеренно косым сечениям (одна или обе оптические оси вне поля зрения, но недалеко от его края). Однако при этом нужно избегать сечений, в которых одна или обе оптические оси находятся очень близко к краю поля зрения как внутри, так и за его пределами. В них невозможно точное совмещение изогирь с метками, находящимися на краю поля зрения, что приводит к грубым погрешностям при определении угла  $2V$ . В таких случаях следует вместо метки  $M_1$  использовать метку  $M_5$ , удаленную от края поля зрения, хотя это может привести к снижению точности расчетов.

Среди косых сечений нужно подбирать такие, которые дают чёткую изогирь, медленно проходящую через поле зрения при вращении столика. Малая скорость движения изогирь указывает на расположение ближней оптической оси недалеко от края поля зрения. Для них характерен узкий верхний конец изогирь.

**2. Установка выбранного кристалла в исходную (стандартную) позицию.** Из четырёх позиций погасания кристалла (в параллельном свете) выбирают ту, в которой изогирь, пересекая центр поля зрения, проходит из 1-го в 3-й квадрант (рис. 2, а, б; 5, а), а её более узкий и менее подвижный конец находится в 1-м квадранте. При вращении столика по часовой стрелке изогирь должна смещаться по оси  $X$  от центра слева направо.

В слабо косых сечениях с оптической осью в поле зрения выбирают погасание, при котором ветвь изогирь, не уходящая из поля зрения, пересечет окулярное перекрестие.

Завершающий шаг – точную установку кристалла в исходную стандартную позицию (на максимальную темноту) – можно выполнить двумя способами: в параллельном (см. выше *центрировку коноскопа*) и сходящемся свете. Первый способ даёт хорошие результаты для сечений с высокой интерференционной окраской и по мере её снижения точность установки снижается. В изотропных сечениях (разрезах перпендикулярных оптической оси) этот способ вообще не применим.

Второй способ заключается в поочерёдном и неоднократном совмещении с окулярным перекрестием и снятием отсчётов по лимбу столика сначала для одного края изогирь, затем для другого (*двусторонний способ*, описанный ниже). Средний отсчёт  $N_0$  рассчитывают как среднеарифметическое значение частных отсчётов. Этот способ даёт хорошие результаты в сечениях с низкой интерференционной окраской, включая и

изотропные разрезы. И, наоборот, сечения с высокой интерференционной окраской дают менее точный результат, так как в них наблюдается широкая расплывчатая изогиря.

Следующий шаг – выбор меток: на оси  $X$  (метки  $M_x$  и  $M_{-x}$ ) или на оси  $Y$  (метки  $M_y$  и  $M_{-y}$ ). Предпочтение следует отдать меткам  $M_x$  и  $M_{-x}$ , если изогиря в центре поля зрения образует с горизонтальной нитью окулярного креста (осью  $X$ ) больший угол, чем с вертикальной нитью (осью  $Y$ ). Когда визуально трудно оценить соотношение этих углов, нужно определить углы «пробега» по этим осям, т. е. измерить углы поворота столика, необходимые для прохождения изогирой поля зрения в горизонтальном и вертикальном направлениях. Если угол «пробега» по оси  $X$  окажется меньшим, чем по оси  $Y$ , следует производить определение углов смещения по меткам на оси  $Y$ .

Метка  $M_5$  используется в сечениях кристаллов, в которых одна или обе оптические оси находятся в поле зрения. В них изогиря при вращении столика не пересекает диагональную метку  $M_1$  или, достигая метку только одной стороной, начинает движение в обратную сторону.

**3. Выбор пересечения изогиря с меткой.** При повороте столика на  $360^\circ$  изогиря в зависимости от расположения оптических осей пересекает одну и ту же метку 0, 2, 4 раза (см. таблицу 2). Каждому такому пересечению соответствует свой угол совмещения  $\omega$ . В связи с этим возникает **вопрос**: какой угол совмещения следует использовать в расчетах? **Ответ**: все углы совмещения равноправны и любой из них может быть использован для ввода в компьютер. Однако для осевых меток имеется ограничение – абсолютное значение разности углов совмещения по противоположащим меткам не должно быть близким к  $180^\circ$ , т. е.  $|\omega_x - \omega_{-x}| \approx 180^\circ$ ,  $|\omega_y - \omega_{-y}| \approx 180^\circ$ . Такие значения углов совмещения являются конфликтными и при их вводе в компьютер программа предупредит о недопустимости их использования в расчетах.

Таблица 2

**Зависимость количества пересечений изогирой меток при повороте столика на  $360^\circ$  от расположения оптических осей**

Расположение оптических осей	Количество пересечений изогиря с метками при повороте столика на $360^\circ$	
	Диагональные метки $M_{1-4}$	Осевые метки $M_{x,y,-x,-y}$
1. Оптические оси $A_1$ и $A_2$ в поле зрения, $\rho_1 < \rho_k$ ; $\rho_2 < \rho_k$		
а) $A_1$ вблизи центра поля зрения.	0	2
б) $A_1$ посередине между центром и краем поля зрения.	0	2, 4
в) $A_1$ и $A_2$ вблизи края поля зрения.	0, 2, 4	2, 4
2. Оптическая ось $A_1$ в поле зрения, $A_2$ вне поля зрения, $\rho_1 < \rho_k$ ; $\rho_2 > \rho_k$	2, 4	2, 4
3. Оптические оси вне поля зрения, $\rho_1 > \rho_k$ ; $\rho_2 > \rho_k$	4	4

При 4-кратном пересечении изогиря с 3 метками общее количество углов совмещений равно 12, из которых возможно создать 48 сочетаний (комбинаций) по 3 угла. Однако не все они могут дать хороший результат, так как среди них есть углы совмещения, определенные с низкой точностью. Чтобы не запутаться среди этих многочисленных комбинаций, можно рекомендовать следующее правило: из 4-х (или 2-х) углов совмещения с одной и той же меткой для расчетов брать только *ближайшие* углы



совмещения, т. е. такие углы, которые, которые требуют минимального поворота столика от исходной позиции.

**4. Совмещение изогри с метками.** Очень хорошие результаты дает *двусторонний способ* определения угла совмещения изогри с меткой. Он заключается в снятии отсчёта по лимбу столика в двух положениях: при подходе изогри к метке, когда она касается ее внешней стороной, и при уходе изогри, когда на метке оказывается ее внутренняя сторона (рис. 5).

Для дальнейших расчетов нужно взять среднее из двух отсчётов. Этот способ пригоден даже для очень широких изогри и, что особенно важно, при его использовании происходит совмещение «нулевой» изогри с меткой с минимальными погрешностями.

Выделяемая визуально метка  $M_5$  используется вместо метки  $M_1$  для сечений с двумя осями в поле зрения, в которых изогри не совмещается с диагональными метками при любом угле поворота столика, а также во всех других случаях, когда совмещение изогри с меткой  $M_1$  не надежно (это часто бывает, когда одна из оптических осей расположена вблизи края поля зрения).

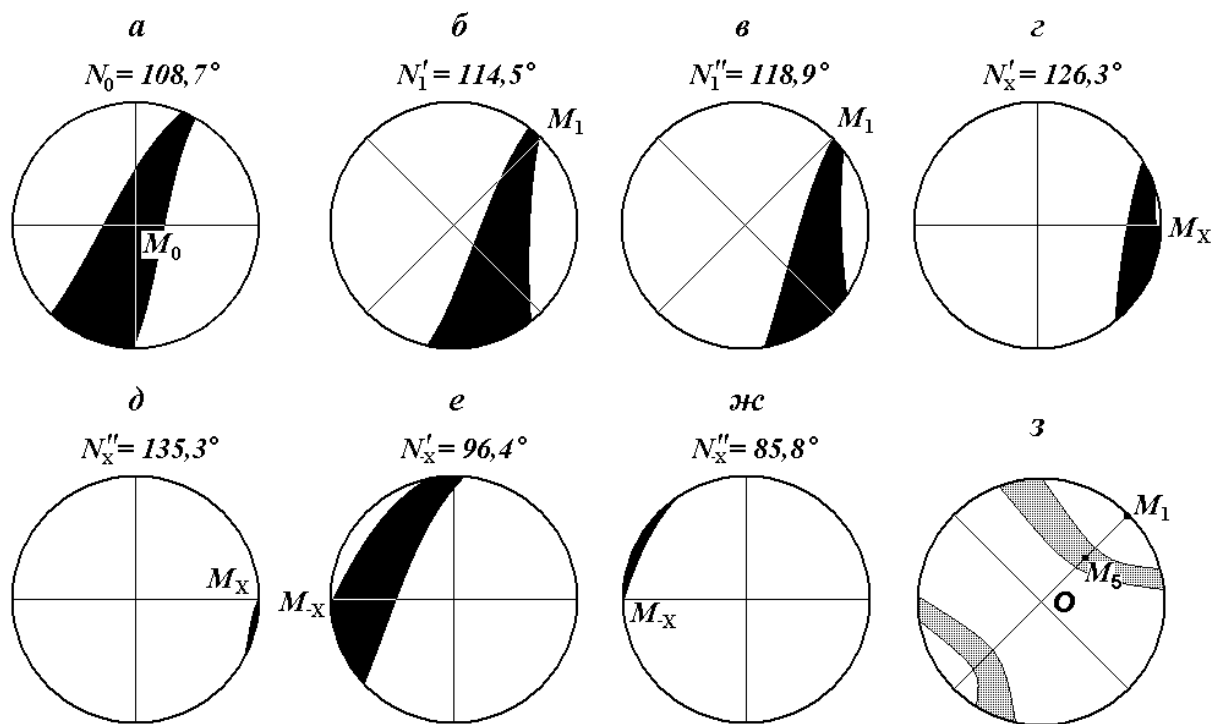


Рис. 5. Двусторонний способ определения углов совмещения изогри с метками: а – исходная позиция; б, в – совмещение с меткой  $M_1$ ; г, д – с меткой  $M_x$ ; е, ж – с меткой  $M_x$ .

Для метки  $M_5$  применение двустороннего способа затруднительно. Чтобы совместить изогри с этой меткой, нужно вывести среднюю точку изогри на середину расстояния от центра до метки  $M_1$  (рис. 5, з). Если изогри широкая, нужно остановиться на позиции, при которой расстояния от краев изогри до центра и метки  $M_1$  будут одинаковыми.

**5. Расчет углов совмещения.** Снятие отсчетов для всех меток производится многократно, с точностью до  $0,1^\circ$  (по нониусу), до получения устойчивого среднего значения отсчетов  $N_1$ ,  $N_x$  и  $N_{-x}$  для каждой метки. Углы совмещения определяются по формулам:

$$\omega_1 = N_1 - N_0; \quad \omega_x = N_x - N_0; \quad \omega_{-x} = N_{-x} - N_0; \quad \omega_y = N_y - N_0; \quad \omega_{-y} = N_{-y} - N_0$$

где  $N_0$  – среднее значение отсчётов в исходной (стандартной) позиции.

Для результатов измерений, показанных на рисунке 5, средние значения отсчетов по лимбу столика микроскопа для меток  $M_1$ ,  $M_x$  и  $M_{-x}$  следующие:

$$N_1 = (N_1' + N_1'') / 2 = (114,5 + 118,9) / 2 = 116,7;$$

$$N_x = (N_x' + N_x'') / 2 = (126,3 + 135,3) / 2 = 130,8;$$

$$N_{-x} = (N_{-x}' + N_{-x}'') / 2 = (96,4 + 85,8) / 2 = 91,1.$$

Рассчитываем углы совмещения изогирь с метками:

$$\omega_1 = N_1 - N_0 = 116,7 - 108,7 = 8,0^\circ;$$

$$\omega_x = N_x - N_0 = 130,8 - 108,7 = 22,1^\circ;$$

$$\omega_{-x} = N_{-x} - N_0 = 91,1 - 108,7 = -17,6^\circ.$$

Эти углы совмещения, а также апертура объектива  $60^\times$ , равная 0,85, и показатель преломления кристалла  $n = 1,7$ , введены в компьютерную программу расчета  $2V$  и элементов ориентировки оптической индикатрисы. Получены следующие результаты расчета ( $^\circ$ ):

1. угловой радиус поля зрения коноскопа  $\rho_k = 30$ ;
2. сферические координаты оптических осей  $A_1$  и  $A_2$ :  $\rho_1 = 44.5$ ,  $\lambda_1 = 53.9$ ,  $\rho_2 = 67.4$ ,  $\lambda_2 = 126.1$ ;
3. угол  $2V$  и сферические координаты плоскости оптических осей:  $2V = 61.8$ ,  $\rho_p = 44.3$ ,  $\lambda_p = 60.1$ ;
4. сферические координаты острой ( $B_1$ ) и тупой ( $B_2$ ) биссектрис:  $\rho_{B1} = 50.2$ ,  $\lambda_{B1} = 95.7$ ,  $\rho_{B2} = 71.3$ ,  $\lambda_{B2} = -10.6$ .

## **6. Проверка (контроль) результатов расчета $2V$ и ориентировки оптической индикатрисы.**

*Выбраковка явно ошибочных результатов.* Грубые погрешности в определении  $2V$  и ориентировки оптической индикатрисы становятся видимыми при сравнении реально наблюдаемой в коноскопе изогирь и ее компьютерного воспроизведения на экране монитора, выполненного по программе 2 (приложение А). При обнаружении заметных отличий в форме изогирь и ее поведении при вращении столика результаты расчетов следует считать сомнительными.

Если рассчитанный полярный угол  $\rho_1$  ближней оптической оси больше углового радиуса  $\rho_k$  поля зрения ( $\rho_1 > \rho_k$ ), а в коноскопе одна из ветвей изогирь постоянно находится в поле зрения, или, наоборот, соотношение  $\rho_1$  и  $\rho_k$  обратное ( $\rho_1 < \rho_k$ ), а обе ветви изогирь при вращении столика уходят из поля зрения, то такие результаты игнорируются как заведомо ошибочные.

Выбраковке подлежат результаты, указывающие на присутствие креста интерференционной фигуры в поле зрения при его отсутствии и, наоборот, на его отсутствие при фактическом присутствии. Проверить присутствие или отсутствие креста можно по программам 2 и 3 воспроизведения изогирь (приложение А), в которые нужно ввести расчетные данные о координатах оптических осей и опытным путем подобрать угол поворота столика, при котором образуется крест.

Не вызывают доверия результаты, если компьютер сообщает о нестандартной позиции, а исполнитель уверен, что она стандартная. Обычно такая ситуация возникает при вводе в программу 1 (приложение А) конфликтных значений углов совмещений изогирь с осевыми метками.

*Детальный контроль* результатов расчетов возможен, если в поле зрения коноскопа виден крест. Нужно замерить угол поворота столика, при котором образуется крест и затем по этому углу и сферическим координатам оптических осей воспроизвести «нулевую» изогирь по программе 3 (приложение А). Тот дополнительный угол поворота столика, который потребуется, чтобы получить крест на экране монитора, характеризует точность выполненных расчетов. Этот угол не должен превышать нескольких градусов.

Как указывалось выше, по одной и той же метке можно получить 2 или 4 угла совмещения. Из них можно подобрать разные комбинации и использовать их для контрольных расчетов угла  $2V$  и ориентировки оптической индикатрисы. Сравнивая новые данные с предыдущими, можно сделать заключение о точности выполненных работ.

*Погрешности измерения  $2V$  по методу «засечек».* Точность определения угла оптических осей методом «засечек» была проверена контрольными измерениями на федоровском столике. При этом выяснилось, что погрешности метода зависят, в основном, от четкости изогиры. Если контуры изогиры отчетливые, погрешности определения  $2V$  не превышают 2–3°. При расплывчатых контурах они возрастают до 5–6°.

### 7. Нанесение оптических осей и элементов симметрии оптической индикатрисы на стереографическую проекцию.

Результаты расчета сферических координат оптических осей и элементов симметрии оптической индикатрисы можно вынести на стереографическую проекцию. Хотя все сферические координаты рассчитаны в полярных координатах, для этой цели можно использовать экваториальную стереографическую сетку Вульфа.

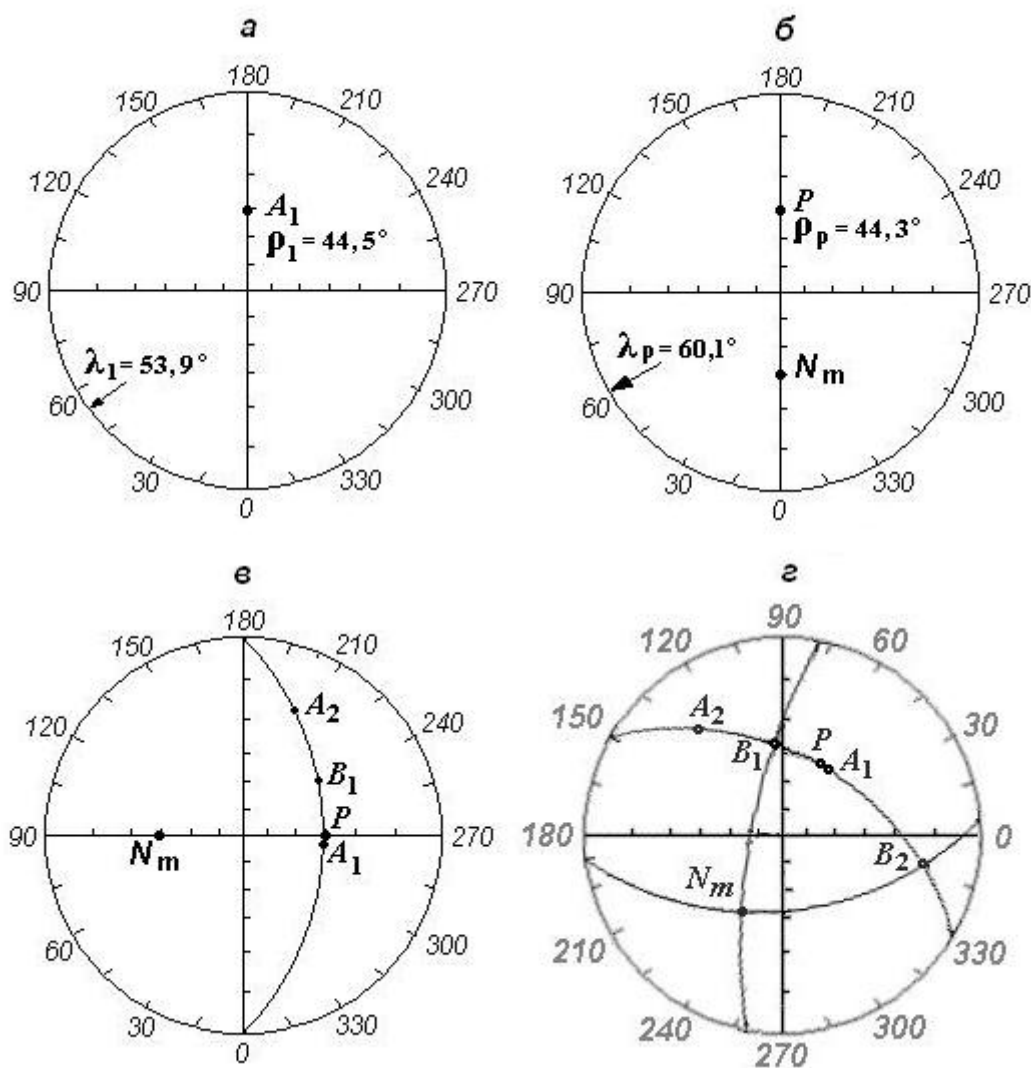


Рис. 6. Построение стереографической проекции оптических осей и элементов симметрии оптической индикатрисы. а – нанесение на кальку оптической оси  $A_1$ ; б – нанесение плоскости оптических осей  $P$  и ее полюса  $N_m$ ; в – построение плоскости оптических осей; г – стереографическая проекция оптических осей и элементов симметрии оптической индикатрисы.  $A_1$

и  $A_2$  – оптические оси;  $P$  – точка, определяющая угол наклона плоскости оптических осей;  $N_m$  – ось оптической индикатрисы (она же полюс плоскости оптических осей);  $B_1$  и  $B_2$  – острая и тупая биссектрисы угла оптических осей.

На рис 6 показано построение стереографической проекции оптических осей и элементов симметрии оптической индикатрисы по данным, приведенным выше. Предварительно отрицательные долготы переводим в положительные, прибавив к их значению  $360^\circ$ . Накладываем на сетку Вульфа кальку, совмещаем нулевой индекс на кальке с делением большого круга сетки, соответствующем долготе оптической оси  $A_1$  (рис. 6, а). На нулевом меридиане отмечаем точку, удаленную от центра вверх на величину полярного угла оптической оси  $\rho_1$ . Подобным же образом наносим на кальку вторую оптическую ось  $A_2$ , острую ( $B_1$ ) и тупую ( $B_2$ ) биссектрисы и плоскость оптических осей ( $P$ ). В последнем случае нужно иметь ввиду, что точка  $P$  расположена на плоскости оптических осей. Чтобы получить полюс этой плоскости (с ним совпадает ось оптической индикатрисы  $N_m$ ), нужно при той же долготе отметить точку на нулевом меридиане ниже центра, соответствующую углу  $90^\circ - \rho_p$  (рис. 6, б). Далее, совмещаем точки  $N_m$  и  $P$  с экватором сетки и по меридиану, соответствующему полярному углу  $\rho_p$ , проводим плоскость оптических осей. Таким же способом, совместив с экватором острую ( $B_1$ ) и тупую ( $B_2$ ) биссектрисы, рисуем остальные два главных сечения оптической индикатрисы –  $B_1N_m$  и  $B_2N_m$ . В результате построений получена стереографическая проекция всех элементов оптической индикатрисы (рис. 6, в, г).

*Исследование двойников.* В коноскопе невозможно измерить угол наклона плоскости срастания двойниковых индивидов. Поэтому следует искать двойники с тонким швом, в которых плоскость срастания перпендикулярна к поверхности шлифа. На кальку выносят оптические оси и элементы симметрии оптической индикатрисы двух двойниковых полосок, определяют положение плоскости срастания и взаимное расположение оптических индикатрис, на основании чего делается заключение о законе двойникования.

## Приложение А

### Пошаговые инструкции к коноскопическим программам

На сайте размещены 3 программы в различных версиях с интерфейсом на русском (кириллица и транслит) и английском языках. Они написаны на языке Qbasic 4.5 и скомпилированы в исполняемые EXE-файлы.

#### 1. Определение угла оптических осей и ориентировки оптической индикатрисы по методу «засечек».

1.1. С использованием метки  $M_1$

Ms2VM1Ru.exe

1.2. С использованием метки  $M_5$

M2VM5Ru.exe

#### 2. Компьютерное воспроизведение изогир на экране монитора

IsogyrRu.exe

#### 3. Компьютерное воспроизведение «нулевой» изогир на экране монитора

ZeroIsRu.exe

Количество символов в имени скомпилированных файлов Qbasic 4.5 не должно быть больше 8. При назначении имени файлов приняты следующие сокращения:

Ms – Measurement (измерение);

2V – угол оптических осей;

M1, M5 – используемые метки;

Isogyr – изогира;

ZeroIs – нулевая изогира;  
Язык интерфейса:

Ru – русский (кириллица + транслит);  
En – английский.

Интерфейс программ на русском языке написан в двух вариантах: на кириллице и транслите (русские буквы заменены латинскими буквами). Кириллица правильно воспроизводится на экране только в текстовом экранном режиме в небольшом окне программы, занимающем часть экрана. При работе в полноэкранный графический режим вместо русских букв выводятся разные непонятные знаки («кракозябры»).

В программах 2 и 3 для ввода исходных данных используется кириллица в текстовом режиме, для воспроизведения изогиры – транслит в полноэкранный режиме.

В программах, написанных на языке Qbasic, невозможно отобразить греческие буквы. Поэтому они заменены латинскими буквами, как показано ниже:

Греческие буквы	ρ	λ	ω
Латинские буквы	R	L	W

Запуск файлов возможен из-под Windows XP и Windows 7, x86 (только в текстовом режиме экрана). Совместимость программ с другими операционными системами не проверялась, но есть основания предполагать, что они работоспособны под всеми более ранними версиями Windows. Перед запуском программ необходимо установить разрешение экрана 800x600.

Режим экрана (текстовый или графический) устанавливается автоматически после запуска программы.

**1. Программы определения в коноскопе угла оптических осей и ориентировки оптической индикатрисы кристаллов по методу «засечек» с использованием меток  $M_1$  (файл Ms2VM1Ru.exe) и  $M_5$  (файл Ms2VM5Ru.exe).**

Щелкните ссылку на файл и выберите «Выполнить». В окне программы появятся запросы на ввод исходных данных.

**1) Введите апертуру объектива (0.85 для 60x, 0.65 для 40x).**

Нужно ввести значение апертуры, выгравированное на оправе объектива.

**2) Введите показатель преломления минерала  $N=(N_g+N_m+N_p)/3$ .**

Если минерал диагностирован, то его показатели преломления можно взять из справочников. Для неизвестного минерала следует определить группу по В. Н. Лодочникову и ввести средний для группы показатель преломления (Приложение Б).

**3) Выберите метки: на оси X – (0), на оси Y – (1).**

Предпочтение следует меткам  $M_x$  и  $M_{-x}$  на оси X, если изогира в центре поля зрения образует с горизонтальной нитью окулярного креста (осью X) больший угол, чем с вертикальной нитью (осью Y). Когда визуально трудно оценить соотношение этих углов, следует определить углы «пробега» по этим осям, т. е. измерить угол поворота столика, необходимый для прохождения изогирой поля зрения в горизонтальном и вертикальном направлениях. Если угол «пробега» по оси X окажется меньшим, чем по оси Y, нужно производить определение углов смещения по меткам на оси Y (метки  $M_y$  и  $M_{-y}$ ).

**4) Введите углы совмещения изогиры с метками:**

а) W1 (метка M1) или W5 (метка M5)

б) Wx (метка Mx);

в) W-x (метка M-x).

Требуется ввести средние значения углов поворота столика, необходимые для совмещения изогирь с указанными метками.

Если ось с метками выбрана неудачно, компьютер предупредит об этом сообщением (пример):

**5) Угол между изогирой и осью X: 25.2**

**Следует использовать метки на другой координатной оси"**

**Согласны? (0 - нет, 1 - да).**

Угол между изогирой и осью  $X$  оказался меньше аналогичного угла с осью  $Y$ . Здесь нужно сделать выбор: продолжить расчет или перейти к определению углов совмещения с метками на оси  $Y$ .

Если разность  $|\omega_x - \omega_x|$  или  $|\omega_y - \omega_y|$  оказалась близкой к  $180^\circ$ , компьютер выдаст сообщение:

**6) Есть опасение, что вы ввели конфликтные значения  $W_y$  и  $W_x$ .**

**Ввести новые значения  $W_y$  и  $W_x$  (0), продолжить расчет (1).**

Здесь нужно сделать выбор: ввести другие значения  $\omega_y$  и  $\omega_x$  ( $\omega_x$  и  $\omega_x$ ) или игнорировать предупреждение и продолжить расчет.

На этом ввод исходных данных закончен.

Если при установке кристалла выбрана неправильная исходная позиция, компьютер прекращает расчеты, сообщает причину и дает совет, например:

**7) Нестандартная позиция.**

**Оптическая ось A1 в 2-м квадранте.**

**Поверните столик на 90 градусов по часовой стрелке.**

Необходимо повернуть столик на  $90^\circ$  по часовой стрелке и определить новые значения углов совмещения.

По окончании ввода исходных данных программа выдает результаты расчета:

а) угол оптических осей  $2V$ ;

б) угловой радиус поля зрения коноскопа  $R_k$ ;

в) сферические координаты оптических осей:  $R_1$  и  $R_2$  – полярные углы,  $L_1$  и  $L_2$  – долготы;

г) сферические координаты плоскости оптических осей ( $P$ ):  $R_p$  – полярный угол (угол наклона плоскости  $P$  относительно оптической оси микроскопа),  $L_p$  – долгота (т. е. азимутальное направление наклона);

д) сферические координаты острой ( $B_1$ ) и тупой ( $B_2$ ) биссектрис угла оптических осей: полярные углы  $RB_1$ ,  $RB_2$  и долготы  $LB_1$ ,  $LB_2$ .

После выдачи результатов расчета программа предлагает сделать выбор:

**8) Продолжить работу (1), выйти из программы (0).**

*Продолжить работу* – ввести новое значение показателя преломления минерала и углов совмещения изогирь с метками;

*Выйти из программы* – прекратить работу программы.

## **2. Программа «Воспроизведение изогирь на экране монитора по координатам оптических осей» (файл IsogyRu.exe)**

Щелкните ссылку на файл и выберите «Выполнить». В окне появятся запросы на ввод исходных данных.

**1) Радиус поля зрения коноскопа (экранные точки).**

Рекомендуемые значения от 100 до 220. Этот показатель определяет размер изображения на экране монитора. Если вы хотите увидеть отображение оптических осей, находящихся далеко за границей поля зрения, следует уменьшить его величину.

**2) Угловой радиус поля зрения коноскопа, град.**

Значение радиуса поля зрения коноскопа  $R_k$  можно взять из результатов расчета этого показателя по предыдущей программе. В этом может возникнуть необходимость, если вы намерены сравнить соответствие реально наблюдаемой в коноскопе изогиры ее отображению на экране, построенному по результатам расчета сферических координат оптических осей и тем самым оценить достоверность этих расчетов. В других случаях при выборе значения  $R_k$  следует ориентироваться на следующие данные о зависимости  $R_k$  от показателя преломления кристалла  $n$  (для объектива  $60^x$ ):

$n$	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9
$R_k$	$37,5^\circ$	$36^\circ$	$34,5^\circ$	$33^\circ$	$32^\circ$	$31^\circ$	$30^\circ$	$29^\circ$	$27,5^\circ$	$26,5^\circ$	$26^\circ$

И, наконец, если вы любопытны и желаете увидеть изогиру за пределами поля зрения, задайте большие значения  $R_k$ , вплоть до  $90^\circ$ .

### 3) **Граничная интенсивность света.**

Расчетная относительная интенсивность света в поле зрения коноскопа колеблется от 0 до 1. Как видно из самого названия, граничная интенсивность света определяет контур изображения изогиры на мониторе. Все точки с интенсивностью света меньшей заданной величины компьютер относит к изогире. Обычно я ввожу величину интенсивности от 0,05 до 0,1. Но если реально наблюдаемая в коноскопе изогира шире или уже воспроизводимой на экране, вы можете соответственно увеличить или уменьшить величину граничной интенсивности.

### 4) **Введите сферические координаты опт. осей $A_1(R_1, L_1)$ и $A_2(R_2, L_2)$** ( $R$ - полярный угол, $L$ – долгота)

По этому запросу нужно последовательно ввести сферические координаты оптических осей  $R_1, L_1, R_2, L_2$ , взятые из результатов их расчета по предыдущей программе, или же задать по своему усмотрению любые другие координаты.

### 5) **Vvedite ugol (W) povorota stolika.**

Можно ввести любой угол поворота столика от  $-360$  до  $360^\circ$ , чтобы посмотреть, как изменяются при этом форма и положение изогиры в поле зрения коноскопа. На этом шаге имеется возможность изменить направление работы программы: ввести число «999» для ввода новых координат оптических осей или «-999» для выхода из программы. Если угол поворота не вводить и сразу нажать Enter, то угол поворота столика будет равен  $0^\circ$ .

На этом ввод данных заканчивается. На экране монитора будет получено изображение поля зрения коноскопа (круг, выделенный серым фоном), нитей окулярного креста с делениями через  $5^\circ$ , изогиры (черное), оптических осей (мелкие светлые окружности) и меток  $M_{1-4}$ , обозначенных мелкими красными прямоугольниками.

Компьютерное воспроизведение изогиры может полезным в следующих случаях:

- Для сравнения наблюдаемой в коноскопе изогиры с ее компьютерной моделью, построенной по координатам оптических осей, рассчитанных по методу «засечек», с целью оценки достоверности результатов расчетов.
- Для описания формы изогиры и ее поведения при вращении столика микроскопа при различных координатах оптических осей (т. е. в различных сечениях оптической индикатрисы).
- В экспериментах по совершенствованию коноскопического метода исследования кристаллов. Например, можно проверить, погрешности измерения углов совмещения изогиры с метками двусторонним способом, разработать способ определения  $2V$  с использованием креста интерференционной фигуры и др.

## 3. Программа «Воспроизведение на экране монитора «нулевой» изогиры (файл ZeroIsRu.exe)

Эта программа по введенным сферическим координатам оптических осей рассчитывает координаты точек с нулевым значением интенсивности света и воспроизводит по ним «нулевую» изогрифу в виде линии на экране монитора.

Порядок ввода исходных данных такой же, как и в предыдущей программе. Имеется лишь одно исключение – пропущен пункт 3 «Граничная интенсивность света».

Основное назначение этой программы – наглядный показ формы и положения изогрифы в поле зрения коноскопа и ее поведения при вращении столика как линии, являющейся «истинной» изогрифой, которую мы реально в коноскопе не видим, но можем воспроизвести на экране монитора. Меняя угол поворота столика, можно способом «подгона» добиться пересечения «нулевой» изогрифы с метками и таким образом с высокой точностью определить углы совмещения изогрифы с метками. Если в поле зрения виден крест интерференционной фигуры, то на экране монитора можно зафиксировать угол поворота столика, при котором образуется крест, сравнить его с аналогичным углом, определенным в коноскопе и сделать выводы о точности расчетов по программе 1.

## Приложение Б

### Классификация бесцветных минералов по показателю преломления (В. Н. Лодочников, 1936)

№ группы	Показатель преломления, $n$	Ср. значение $n$	Оптические свойства минералов	Типичные минералы
1	1,41 – 1,47	1,44	Ясные обратные рельеф и шагреневая поверхности. Резкие ограничения. Отчетливый дисперсионный эффект – золотисто-желтая окраска на стыках с другими минералами.	Опал, флюорит, тридимит
2	1,47 – 1,53	1,5	Рельеф и ограничения заметны, но более слабые, чем в 1-ой группе. Шагреневая поверхность неясна или отсутствует. Ясный дисперсионный эффект на границах с бальзамом – минералы приобретают золотисто-желтый оттенок.	Цеолиты, калиевые полевые шпаты, канкринит
3	1,535 – 1,545	1,54	Ограничения и рельеф незаметны. Дисперсионный эффект и полоска Бекке улавливаются с трудом или вообще незаметны.	Халцедон, кислые плагиоклазы, нефелин
4	1,55 – 1,60	1,575	Ограничения и рельеф слабо заметны. Преломление - по полоске Бекке – ясно больше, чем у бальзама. Ясный дисперсионный эффект на стыке с бальзамом – минерал приобретает зеленовато-голубой оттенок	Кварц, плагиоклазы № 15-100, мусковит
5	1,61 – 1,66	1,635	Отчетливые ограничения и рельеф. Ясная шагреневая поверхность. Дисперсионный эффект и полоска Бекке легко улавливаются.	Апатит, андалузит, тремолит
6	1,66 – 1,78	1,72	Резкие ограничения и рельеф. Отчетливые шагреневая поверхность, полоска Бекке и дисперсионный эффект.	Карбонаты, оливин, ромбический пироксен
7	>1,78		Очень резкие рельеф, ограничения и шагреневая поверхность.	Гранаты, циркон, сфен