

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Л. А. Вардьянц

Член-корреспондент АН Армянской ССР

**Вихревая теория оптической ориентировки
 плагиоклазов**

Оптическая ориентировка плагиоклазов характеризуется одной особенностью, на которую до сих пор не обращали внимания. Именно, проекции векторов $[001]$, $\perp(1\bar{1}0)$ и $\perp(001)$ располагаются на диаграммах Е. С. Федорова, В. В. Никитина, М. А. Усова, Ф. Бекке (Ф. Веске) и др. в виде длинных кривых, довольно близких, по их кривизне, к дугам большого круга. В противоположность этому, проекции векторов $\perp(010)$, $\perp(110)$ и особенно $\perp(130)$ расположены в виде коротких кривых, сильно изогнутых и как бы оборачивающихся около проекции какого-то другого вектора.

Это обстоятельство наводит на мысль, что у плагиоклазов существует, повидимому, вектор, промежуточный между $\perp(130)$ и $\perp(110)$, который занимает по отношению к оптической индикатрисе постоянное положение, независимо от состава самого плагиоклаза. В иной формулировке это может означать, что оптическая ориентировка разных членов плагиоклазового ряда может определяться тем или иным углом поворота оптической индикатрисы вокруг такого постоянного вектора.

Для проверки этого вывода был сделан ряд построений, которые показали полную его правильность. Оказалось, что плагиоклазы действительно обладают подобным постоянным вектором, и таковой, будучи перпендикулярен к оси $[001]$, совпадает почти точно с нормалью к потенциальной грани (490), занимающей промежуточное положение между гранями (110) и (130). Грань (490) составляет угол около 8° ($1/2^\circ$) с гранью (130) и угол около $36-37^\circ$ ($144-143^\circ$) с гранью (010).

Координаты вектора $\perp(490)$ были вычислены нами с точностью до $\pm 0.2^\circ$ (см. таблицу 1), причем за основу были приняты координаты главных кристаллографических элементов плагиоклаза по диаграмме В. В. Никитина (2), опубликованной в 1926 и 1929 гг. Как видно из таблицы 1, одноименные координаты вектора $\perp(490)$ почти одинаковы для всех плагиоклазов. Будучи нанесены на диаграмму В. В. Никитина, проекции вектора $\perp(490)$ располагаются в виде запутанной кривой, подавляющая часть которой (для плагиоклазов №№ 20, 30 и от 60 до 100) лежит в пределах очень небольшой площади ограниченной координатами N_g —от 35.2 до 38° , N_m —от 78.1 до 83.4° и N_p —от 53.8 до 56.3° . Средняя точка этой площади имеет

координаты $Ng-36.5^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$, $Nm-80.7^{\circ} \pm 2.6^{\circ}$ и $Np-55^{\circ} \pm 1.25^{\circ}$. Не очень сильно отклоняются от этого среднего положения плагиоклазы №№ 40 и 50.

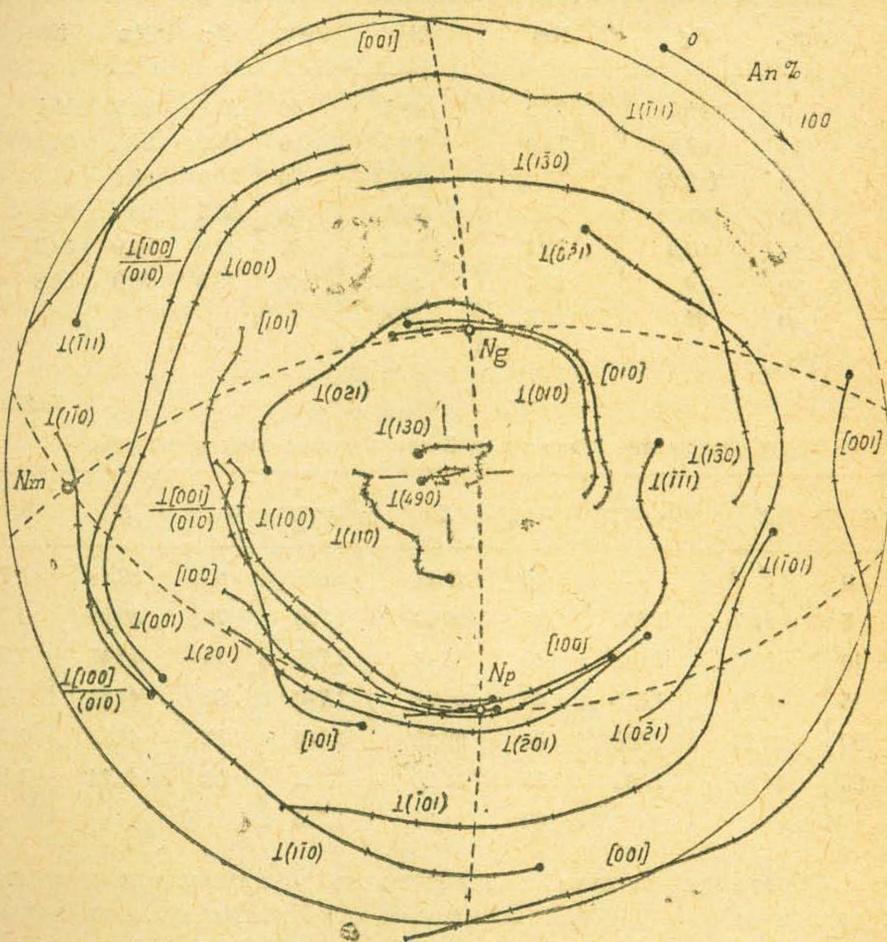
Значительное отклонение от такого среднего положения дают только альбит и альбит-олигоклаз, но и для них можно получить положение, довольно близкое к средней точке кривой. Для этого нужно немного изменить их оптическую ориентировку. При этом для альбита следует принять ту ориентировку, которая была предложена еще Е. С. Федоровым, а именно, нужно расположить на диаграмме В. В. Никитина проекцию $\perp(010)$ к „северу“ от дуги $NgNm$, но не к „югу“, как это сделано В. В. Никитиным. Для альбит-олигоклаза же нужно для координаты $\perp(010)$ относительно Ng принять значение около 9.5° , вместо 11.5° , причем координата относительно оси Np остается почти без изменения.

Подобное изменение оптической ориентировки альбита и альбит-олигоклаза является вполне допустимым. Дело в том, что в отношении альбита В. В. Никитин не считал вопрос этот выясненным окончательно и склонился в пользу выводов Ф. Бекке без достаточных к тому оснований. Указание же А. К. Болдырева, редактора опубликованной работы В. В. Никитина (2, стр. 34, примечание), что наблюдения В. Н. Лодочникова (1) якобы подтверждают такой вывод, является недоразумением. Для решения этого вопроса нужно было бы знать совершенно точное, по отношению к индикатрисе, положение по меньшей мере трех граней, без чего нельзя определить положение кристаллографических осей. Но в статье В. Н. Лодочникова таких измерений нет. Что касается альбит-олигоклаза, то изменение его положения на кривых В. В. Никитина на $2-3^{\circ}$ не должно вызывать особых возражений, так как положение точек на этих кривых определено на основании очень небольшого числа опорных химических анализов, и поэтому здесь вполне возможны отклонения на $\pm 3^{\circ}$ и более. Кроме того, на практике плагиоклазы отклоняются от средних кривых В. В. Никитина порой даже на $5-10^{\circ}$. Во всяком случае, более вероятно то, что альбит и альбит-олигоклаз, в отношении оптической ориентировки постоянного вектора $\perp(490)$, не составляют резкого исключения из общего правила.

Учитывая точность измерений, а также и точность метода построения кривых диаграммы В. В. Никитина и т. п., мы должны признать, что найденный нами вектор $\perp(490)$ занимает практически постоянное положение по отношению к оптической индикатрисе всех плагиоклазов. Вполне понятно, что это постоянство нельзя толковать в математическом смысле. В отдельных случаях, в зависимости от тех или иных причин (например, у кислых членов ряда в силу примеси окиси калия), вектор может уклоняться от среднего его положения, но мы не считаем это существенным. Во-первых, нас может интересовать в данный момент только закономерность обще-

го порядка, а во-вторых, такие отклонения в большинстве случаев не превышают $\pm 4^\circ$.

Перестроив диаграмму В. В. Никитина так, чтобы с ее центром совпал вектор, промежуточный между $\perp(110)$ и $\perp(130)$ и имеющий координаты $N_g=36.5^\circ$, $N_m=80.7^\circ$ и $N_p=55^\circ$, мы получим новую диаграмму (см. фиг. 1), на которой кривые всех кристаллографических элементов плагиоклаза имеют форму, близкую к круговой, и



Фиг. 1. Проекция главных кристаллографических элементов плагиоклаза на плоскость, перпендикулярную к вектору, имеющему координаты $N_g=36.5^\circ$, $N_m=80.7^\circ$ и $N_p=55^\circ$, промежуточные между координатами векторов $\perp(110)$ и $\perp(130)$.

отклоняются от таковой в большинстве случаев не более, чем на $\pm 4^\circ$. В центральной части этой диаграммы расположена, в виде небольшого узла, кривая вектора $\perp(490)$, причем средняя точка узла почти совпадает с центром диаграммы.

Эмпирическим путем нами была найдена математическая зависимость, определяющая для всех плагиоклазов с удовлетворитель-

ной точностью угол поворота оптической индикатрисы вокруг вектора, совпадающего с центром нашей диаграммы.

Таблица 1

Координаты вектора $\perp(490)$ в градусах, с точностью до $\pm 0.2^\circ$. Для плагиоклазов №№ 0 и 10 координаты, показанные в скобках, вычислены по измененным координатам $\perp(010)$.

Ап%	Ng	Nm	Np	Ап%	Ng	Nm	Np
0	44,0	78,0	48,5	50	35,1	84,5	55,5
10	40,5	73,2	53,5	60	35,2	81,5	56,3
0	(38,2)	(75,4)	(55,6)	70	36,0	80,1	55,9
10	(38,6)	(75,6)	(55,9)	80	36,5	80,4	55,2
20	37,3	78,1	55,6	90	37,0	82,0	54,3
30	36,0	83,4	55,0	100	38,0	79,0	53,8
40	34,0	86,3	56,4				

Таблица 2

Соотношение углов a и g . Значения углов даны в градусах

a	g	$K = \frac{a}{g}$	a	g	$K = \frac{a}{g}$	a	g	$K = \frac{a}{g}$
0	0	—	30	17,71	1,695	65	37,28	1,743
5	2,97	1,680	35	20,60	1,700	70	39,90	1,754
10	5,96	1,682	40	23,48	1,705	75	42,46	1,767
15	8,90	1,685	45	26,32	1,710	80	44,96	1,780
20	11,85	1,688	50	29,12	1,716	85	47,39	1,794
25	14,80	1,692	55	31,88	1,724	90	49,74	1,810
			60	34,60	1,733			

Обратимся сначала к зависимости между углом поворота и координатой для $\perp(010)$ относительно оси Ng. Примем, что С—проекция постоянного вектора; А и В—проекции $\perp(010)$ для разных номеров плагиоклаза, причем имеем, по условию, равенство дуг $AC = BC = 36.5^\circ$; угол $ACB = a$ представляет угол поворота индикатрисы вокруг постоянного вектора. Из сферического треугольника ACB найдем:

$\cos AB = \cos^2 36.5^\circ + \sin^2 36.5^\circ \cos a$ или $\cos a = 2.826 \cos g - 1.826$, где $AB = g$ представляет координату для $\perp(010)$ относительно оси Ng, если в одном из положений, А или В, ось Ng совпадает с проекцией $\perp(010)$,

Сделав вычисления для значений от $a = 0^\circ$ до $a = 90^\circ$ (см. таблицу 2), найдем, что соотношение величин a и g более или менее постоянно и в среднем равно 1.745 ± 0.065 . Для угла a предельное

значение $a=90^\circ$ принято в связи с тем, что координата g у плагиоклазов не превышает 48° .

Обратимся теперь к зависимости между номером № плагиоклаза, углом a и координатой g для $\perp(010)$ относительно оси Ng. Результаты соответствующих подсчетов даны в таблице 3. Здесь, в столбцах 1 и 2 даны, по диаграмме В. В. Никитина, номер № плагиоклаза и координата G для $\perp(010)$. В столбце 3 дан номер плагиоклаза, n , считая в одну и другую сторону от олигоклаза № 21, который принят за нулевую точку, т. е. $n=N_2-21$. В столбце 4 дан угол поворота a , по приведенному выше уравнению и по таблице 2, для значений G, показанных в столбце 2. В столбце 5 дано отношение $\sin n : \rho$, где n принято в качестве углового параметра, а $\rho=0.01745$ представляет линейную меру дуги в 1° . В столбце 6 показано значение коэффициента $T = \frac{\rho \cdot a}{\sin n}$, оказавшееся более или менее постоянным для всех плагиоклазов. Это безусловно указывает на наличие закономерной зависимости между величинами n , a и G.

Для того, чтобы привести коэффициент T к постоянному значению, нужно несколько изменить значение координаты G для не-

Таблица 3

Соотношение значений: угла a поворота индикатрисы, номера плагиоклаза и координаты для $\perp(010)$ относительно оси Ng. В столбцах 2, 4, 7, 8 и 9 значения даны в градусах.

№= =An°/°	Ng= =G	n= =№- -21	a	$\frac{\sin n}{\rho}$	T = $\frac{a \rho}{\sin n}$	T=1,51		
						a_1	G ₁	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	18,35	-21	31,11	20,53	1,515	31,0	18,3	-0,05
10	11,50	-11	19,40	10,93	1,775	16,6	9,8	-1,7
20	1,00	- 1	1,69	1,00	1,692	1,5	0,9	-0,1
21	0,60	0	1,00	---	---	1,0	0,6	0,0
30	9,50	+ 9	16,02	8,96	1,79	13,5	8,0	-1,5
40	20,15	+19	34,22	18,65	1,835	28,2	16,7	-3,45
50	26,60	+29	45,50	27,78	1,640	42,0	24,6	-2,0
60	32,00	+35	55,22	36,06	1,532	54,5	31,6	-0,4
70	35,83	+49	62,30	43,24	1,442	65,4	37,5	+1,7
80	40,55	+59	71,27	49,11	1,450	74,2	42,0	+1,4
90	45,30	+69	80,70	53,49	1,510	80,7	45,3	0
100	47,25	+79	84,71	56,24	1,506	85,0	47,4	+0,15

которых членов ряда. Принимая в качестве среднего значения $T=1.51$, т. е. значение его для основных членов ряда (здесь изменение этого коэффициента было бы особенно чувствительным и вызвало бы слишком большое изменение координаты G), мы найдем новые значения угла a_1 и координаты G_1 , показанные в столбцах 7 и 8. В столбце 9 показана разность координат $G-G_1$, которая в половине случаев не превышает $\pm 0.4^\circ$ и лишь в одном случае (андезин № 40) достигает 3.5° . Разность эта почти для всех плагиоклазов не выходит как из пределов точности измерений, так и из пределов той вероятной ошибки построения точек на кривых диаграммы В. В. Никитина, которая, как было указано выше, должна оцениваться не ниже, чем в $\pm 3^\circ$. Вместе с тем эта разность значительно меньше, чем наблюдающиеся на практике отклонения от средних кривых диаграммы В. В. Никитина.

Таким образом, в условиях точности измерений, величины a , n и G связаны простой математической зависимостью вихревого типа, которая может быть представлена окончательно в виде следующих двух уравнений: $a=86.5^\circ \sin n$ и $\cos a=2.826 \cos G-1.826$. Зная одну из трех величин (a , n или G), можно с помощью этих уравнений найти и остальные две. Задача эта может быть решена также и с помощью столбцов 3, 7 и 8 таблицы 3, которые могут быть изображены в виде рабочей диаграммы.

Полный номер плагиоклаза по отношению к альбиту определяется из равенства $N_g=21 \pm n$. При этом знак величины n всегда положительный, если ось Ng лежит в остром углу между нормальными к граням (010) и (001), и всегда отрицательный, если ось Ng лежит в тупом углу между нормальными к тем же граням. Кроме того, знак положителен, если $n > 21$ (и тем более, если $n > 25$), а также если N_m плагиоклаза больше, чем у канадского бальзама. При значениях n меньших, чем 21 (для плагиоклазов от № 0 до № 40), знак может быть определен с уверенностью только по расположению оси Ng в остром или в тупом углу между нормальными к граням (010) и (001).

В заключение можно обратить внимание на то, что разность координат $G-G_1$, показанная в столбце 9 таблицы 3, очень мала у плагиоклазов №№ 0-5, 20, 60 и 85-100, для которых кривые В. В. Никитина корректировались опорными химическими анализами. Вместе с тем у всех остальных плагиоклазов (кроме № 40), не имеющих опорных химических анализов, разность координат не превышает $1.5-2^\circ$. Таким образом, теоретические координаты, вычисленные на основе вихревой теории, очень хорошо согласуются, в подавляющем большинстве случаев, с координатами, установленными с помощью измерений в кристаллах, анализированных химически. Это безусловно доказывает принципиальную правильность вихревой теории.

Причина вихревой закономерности расположения оптической индикатрисы у плагиоклазов пока еще не установлена, но можно предполагать, что это связано, вероятнее всего, с вихревым же взаиморасположением молекул анортита и альбита.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лодочников В. Н.—Микроскопические наблюдения полевых шпатов и выводы из них в породах Кальджирской волости Зайсанского уезда Семипалатинской области. Записки Минералогического Общества, часть 52, 1928 г.

2. Никитин В. В.—Новые диаграммы для определения полевых шпатов универсальным методом Федорова. Ленинград, 1929 г.

Լ. Ս. Վարդանյանց

Հայկական ՍՍՌ ԳԱ քրթակից անդամ

ՊԼԱԳԻՈՎԿԼԱՋՆԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ՊՏՈՒՅՏԱՅԻՆ ԹԵՈՐԻԱՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում շարադրված են հեղինակի կողմից մշակված պլագիոկլազների օպտիկական կողմնորոշման պտույտային թեորիայի հիմունքները:

Այդ թեորիայի համաձայն պլագիոկլազների օպտիկական կողմնորոշումը որոշվում է (490) հարթութայանն ուղղահայացի շուրջը ինդիկատրիսայի պտույտի անկյան մեծությամբ, որը բոլոր պլագիոկլազների մոտ, անկախ նրանց կառուցվածքից, ինդիկատրիսայի նկատմամբ հաստատուն դիրք է գրավում: Պտույտի անկյան զերոյական արժեքը (այսինքն ինդիկատրիսայի զերոյական դիրքը) համապատասխանում է № 21 օլիգոկլազին, որի մոտ Ng առանցքը գործնականորեն համընկնում է [010] նիստին ուղղահայացի հետ:

Պտույտային թեորիայի մաթեմատիկական արտահայտությունը կարելի է տալ երկու հավասարումների ձևով՝ $a = 86.5^\circ \sin n$ և $\cos a = 2.926 \cos G = 1.826$, որտեղ $\pm n$ —պլագիոկլազի համարն է օլիգոկլազի համեմատությամբ (ալբիտի համար $n = -21$, իսկ անորտիտի համար $n = +79$, $\pm a$ —(490) հարթութայանն անցկացված նորմալի շուրջը ինդիկատրիսայի պտույտի անկյունն է, հաշված օլիգոկլազից այս կամ այն կողմ, G —[010]-ի կոորդինատն է առանցքի նկատմամբ:

Պտույտային թեորիայի օգնությամբ քիմիապես ստուգված №№ 0—5, 20, 40, 60 և 85—100 պլագիոկլազների համար հաշված G կոորդինատը Վ. Վ. Նիկիտինի դիագրամի կոորդինատներից շեղվում է 0.5° պակաս, բացի № 40 անդեզինից, որը տալիս է 3.5° շեղում: Քիմիական անալիզներով չստուգված մնացած պլագիոկլազների մոտ շեղումը 1.5 — 2.0° չի անցնում:

Կարելի է ենթադրել, որ ինդիկատրիսայի պտույտային դիրքը պլագիոկլազների մոտ հանդիսանում է ալբիտի ու անորտիտի մոլեկուլների հենց պտույտային դիրքի ֆունկցիան: