

КРИСТАЛЛООПТИКА

Л. А. ВАРДАНЯНЦ

ГЛАВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДВОЙНИКОВ ПЛАГИСКЛАЗА
(Теория главного направления в применении к исследованию
плагиоклазов)

В научно-методических работах по федоровскому методу, вышедших в свет после 1950 г. [4, 6], было указано, что при определении плагиоклазов и их двойников пятиосными методами главное направление двойника может быть причиной ошибки, так как при некоторых условиях оно неотличимо от двойниковой оси. Детальное исследование этого вопроса, выполненное автором данной статьи, показало, во-первых, что возможность ошибок исключена полностью, если исследователь знаком с элементарными положениями теории главного направления двойников плагиоклаза и теорией его триад, и во-вторых, что шестиосный столик совершенно не нужен, поскольку он предназначен исключительно для распознавания главного направления двойника. В этой статье решение задачи дано на основе теории главного направления двойников.

Сейчас уже вполне доказано, что в простых и обычных полисинтетических двойниках плагиоклаза, как и в его основных триадах, двойниковыми осями могут быть лишь следующие кристаллографические векторы: $\perp (010)$, $\perp (001)$, $[100] \parallel [010]$, $[001]$, $[101]$, $\perp [100] \parallel (010)$, $\perp [001] \parallel (010)$, $\perp [101] \parallel (010)$, $\perp [100] \parallel (001)$ и $\perp [010] \parallel (001)$, из которых $\perp [100] \parallel (001)$ практически совпадает с $[010]$, а $\perp [010] \parallel (001)$ — с $[100]$. Плоскостью срастания могут быть только (010) , (001) или ромбическое сечение. Следовательно у таких двойников двойниковая ось либо перпендикулярна к плоскости срастания, либо параллельна ей. Это обстоятельство позволяет провести математическое исследование интересующего нас вопроса о главном направлении.

При исследовании плагиоклазов и их двойников пятиосными методами затруднения могут возникать только в тех случаях, когда предмет изучения являются двойники второго рода, у которых двойниковая ось параллельна плоскости срастания, граничные же двойники определяются всегда безошибочно. Возможность ошибки при изучении двойников второго рода связана с тем, что в некоторых случаях параллельно плоскости срастания располагаются одновременно и двойниковая ось второго рода и ее главное направление. Поэтому решение задачи сводится к тому, чтобы отличить главное направление от

двойниковой оси. Это может быть выполнено двумя способами. Во-первых, посредством особых приемов работы на федоровском столике можно, в каждом отдельном случае, проверить найденный вектор. Соответствующие рекомендации изложены в статьях В. А. Заварицкого [5] и Л. А. Варданянца [3]. Во-вторых, можно путем математического анализа найти те особые признаки ориентировки индикатрисы, наличие которых при измерении плагиоклазов сразу же показывает, что главное направление двойниковой оси второго рода тоже расположено в плоскости срастания. Для такого анализа может быть использовано общее уравнение стереоконоскопических фигур, являющееся основой математической теории федоровского метода [1, 2].

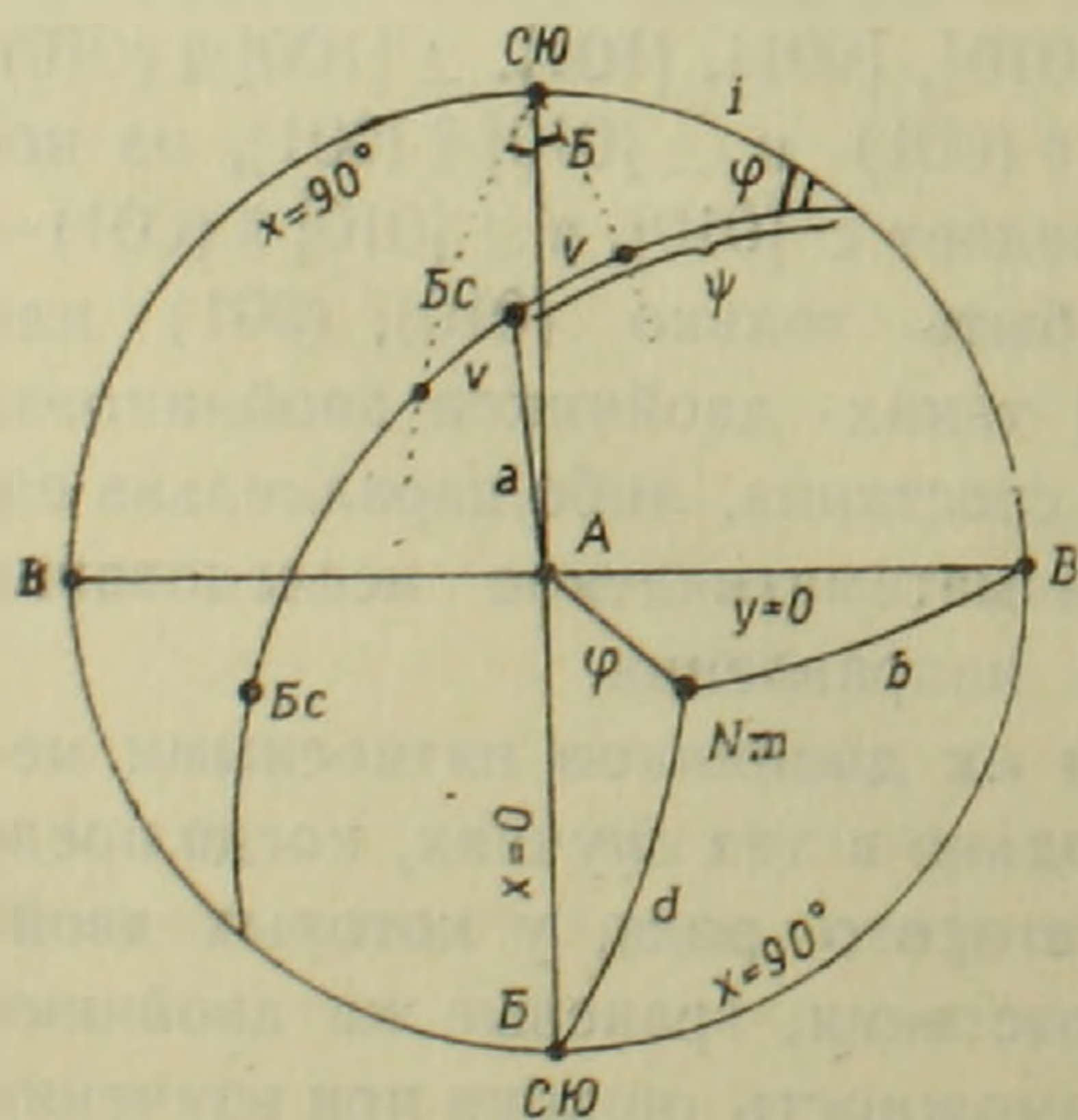
Примем, как на фиг. 1, что плоскость срастания совпадает с плоскостью проекции двойника. Вектор A , проектирующийся в центре проекции, является нормалью к плоскости срастания; вектор B , совмещенный с осью север-юг (ClO), есть главное направление, а перпендикулярный к нему вектор B в плоскости срастания—двойниковая ось второго рода. Оптическая индикатриса и ее ориентировка определяются углами φ , i , ψ и ν , из которых:

φ —угол между плоскостью шлифа и плоскостью оптических осей, равный углу между осью Nm и нормалью к плоскости срастания;

i —угол между осью север-юг и линией пересечения плоскости проекции (или плоскости шлифа) с плоскостью оптических осей, считая по часовой стрелке;

ψ —угол между биссектрисой (Bc) и линией пересечения плоскости проекции (или плоскости шлифа) с плоскостью оптических осей;

ν —половина угла оптических осей по отношению к той биссектрисе для которой принято значение угла ν ; значение угла ν принимается от нуля до 90° , независимо от знака минерала.



Фиг. 1.

Элементарная теория главного направления, выведенная еще Е. С. Федоровым, показывает, что главное направление лежит в плоскости, перпендикулярной к двойниковой оси, и что плоскость, проведенная через главное направление и двойниковую ось, делит пополам двугранный угол, образуемый плоскостями, проведенными через главное направление и оптические оси кристалла.

Выясним теперь взаимоотношение между двойниковой осью второго рода, ее главным направлением и нормалью к плоскости сраста-

ния. Главное направление двойниковой оси В лежит в плоскости осей А и Б, поэтому в стереоконоскопическом уравнении главного направления нужно принять в общем случае значение $x=0$. Если же главное направление совпадает и с плоскостью БВ, т. е. с осью Б, то нужно принять дополнительно и $y=90^\circ$. При этих условиях стереоконоскопическое уравнение приводится к виду:

$$2F_1 = 2\arctg \infty + \arctg \frac{\sin \varphi}{\operatorname{ctg}(\psi + v) \sin i - \cos i \cos \varphi} + \arctg \frac{\sin \varphi}{\operatorname{ctg}(\psi - v) \sin i - \cos i \cos \varphi} \quad (1)$$

где $\operatorname{tg} 2F_1 = 0$.

Для двойниковой оси А главное направление лежит в плоскости осей Б и В, и в его стереоконоскопическом уравнении нужно принимать $x=90^\circ$. При этом условии уравнение главного направления, получает следующий вид:

$$2F_2 = 2\arctg 0 + \arctg \frac{\sin \varphi}{\operatorname{ctg}(\psi + v) \cos(y - i) - \sin(y - i) \cos \varphi} + \arctg \frac{\sin \varphi}{\operatorname{ctg}(\psi - v) \cos(y - i) - \sin(y - i) \cos \varphi} \quad (2)$$

где $\operatorname{tg} 2F_2 = 0$.

Преобразуя эти уравнения, получаем

$$\sin \varphi \sin i [\operatorname{ctg}(\psi + v) + \operatorname{ctg}(\psi - v)] - 2 \sin \varphi \cos \varphi \cos i = 0 \quad (3)$$

$$\sin \varphi \cos(y - i) [\operatorname{ctg}(\psi + v) + \operatorname{ctg}(\psi - v)] - 2 \sin \varphi \cos \varphi \sin(y - i) = 0. \quad (4)$$

Решая уравнение (3) и (4) совместно, находим, что $\operatorname{ctgi} = \operatorname{tg}(y - i)$ и $y = 90^\circ$. Следовательно, главное направление двойниковой оси второго рода может совместиться с плоскостью срастания только в таких случаях, когда оно совпадает с главным направлением граневого двойника, т. е. если в триаде главного направления одна из двух сопряженных с ним двойниковых осей перпендикулярна к плоскости срастания триады.

Проведенное нами исследование показывает, что у плагиоклаза триада главного направления может возникать лишь в следующих единичных случаях, при которых главное направление двойника второго рода совпадает с плоскостью срастания (табл. 1). В подобных триадах вектор, являющийся общим главным направлением граневого двойника и двойника второго рода, всегда совпадает с тем или иным из важнейших кристаллографических элементов, показанных на диаграмме В. В. Никитина, и тоже может быть двойниковой осью. Поэтому его координатами можно с полным правом пользоваться для определения состава плагиоклаза. Зная теорию двойниковых триад, можно по координатам этого вектора определить и закон двойникова-

Таблица 1

Триады главного направления плагиоклазов

Плоскость срастания	Двойниковая ось второго рода	Главное направление	Состав плагиоклаза
(010)	$[100]$ $\perp [100] \parallel (010)$ $[001]$ $\perp [001] \parallel (010)$ $[101]$ $\perp [101] \parallel (010)$	$\perp [100] (010)$ $[100]$ $\perp [001] (010)$ $[001]$ $\perp [101] (010)$ $[101]$	№ 21 $\pm$ 3
(001)	$[100] \approx Np$ $[010] \approx Ng$	$[010] = \perp [100] \parallel (001)$ $[100] = \perp [010] \parallel (001)$	№ 34 № 17—18
Ромбическое сечение	$[010] \approx Ng$	$[100] \approx Np$	№ 17—18

Положение главного направления в том случае, когда оно совмещено с плоскостью срастания, определяется посредством уравнения (3), которое дает несколько решений, в зависимости от значения переменных φ , ψ , i и v . Из них решающее значение имеет переменная ψ , так как сумма котангенсов может изменяться неограниченно и с любым знаком.

1. Если $\psi = v$, то $ctg(\psi - v) = \infty$. Поэтому должно быть одновременно $\sin i = 0$ и $\sin \varphi = 0$, так как $\sin 0 \cdot ctg 0 = 1$. Плоскость оптических осей совпадает с плоскостью срастания, а биссектрисы совпадают: одна с двойниковой осью, а другая—с главным направлением. Этому случаю соответствуют периклиновые двойники при составе плагиоклаза около № 17—18, у которых двойниковая ось $[010]$ почти совпадает с осью Ng , а главное направление—с осью Np . Ось Nm совпадает с нормалью к плоскости срастания.

2. Если $\psi = 0$ или $\psi = 90^\circ$, то одна из биссектрис при любом значении угла $2v$ лежит в плоскости срастания. Сумма котангенсов равна нулю, поэтому уравнение имеет три возможных решения: $i = 90^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ и $i = \varphi = 90^\circ$. Рассмотрим каждое из них.

2А. Если $i = 90^\circ$, то одна из биссектрис совпадает с двойниковой осью. У плагиоклаза это возможно в двух случаях:

а) при составе около № 17—18 в двойниках со срастанием по третьему пинакоиду. Двойниковой осью является $[010]$, почти совпадающая с осью Ng , а главное направление составляет с осью Np угол около 9° и совпадает с вектором $\perp [010] \parallel (001)$, который почти совпадает с $\perp [100]$;

б) при составе около № 34 в двойниках со срастанием по третьему пинакоиду. Двойниковой осью является $[100]$, почти совпадающая с осью Np , а главное направление совпадает с $\perp [100] \parallel (001)$, который почти совпадает с $[010]$ и составляет с осью Ng угол около 17° .

2Б. Если $\varphi = 90^\circ$, то одна из биссектрис, Ng или Np , совпадает с нормалью к плоскости срастания. У плагиоклазов это возможно только при срастании индивидов по второму пинакоиду и при составе около № 21, т. е. только у олигоклаза. Положение и наименование двойниковой оси остаются, как правило, неопределенными, так как любой вектор в плоскости срастания ведет себя при проверке так, как и двойниковая ось. Точное решение можно получить по взаиморасположению главных кристаллографических элементов.

2В. Если $i = \varphi = 90^\circ$, имеем частный случай решения 2Б, когда одна из биссектрис совпадает с двойниковой осью, а другая — с нормалью к плоскости срастания. Главное направление должно совпадать с осью Nm . У плагиоклаза близкое к этому положение занимает двойник олигоклаза (около № 25) по закону $[100]$ со срастанием по второму пинакоиду.

3. Решением уравнения можно считать также и тот случай, когда приравнено нулю все выражение в фигурных скобках. В этом случае должно быть:

$$ctg(\psi + \nu) + ctg(\psi - \nu) - 2 \cos \varphi ctgi = 0 \quad (5)$$

где угол ψ может иметь любое значение между $\psi = 0$ и $\psi = 90^\circ$. Уравнение (5) решается очень просто, если выразить переменные φ , i и ψ через координаты биссектрисы (той, для которой взято значение угла ν) и оси Nm по отношению к осям триады главного направления. По фиг. 1 найдем, что

$$\sin \psi = \frac{\cos a}{\sin \varphi}; \quad \cos i = \frac{\cos b}{\sin \varphi}; \quad \sin i = \frac{\cos d}{\sin \varphi}; \quad tgi = \frac{\cos d}{\cos b}$$

где a — угол между биссектрисой и нормалью к плоскости срастания;
 b — угол между осью Nm и двойниковой осью;
 d — угол между осью Nm и главным направлением;
 φ — угол между осью Nm и нормалью к плоскости срастания.

Указанные координаты можно взять с диаграммы В. В. Никитина. С помощью простых построений можно найти значения углов φ , i и ψ непосредственно на диаграмме В. В. Никитина.

Проведенная нами проверка показала, что уравнение (5) может дать только те решения, которые уже описаны выше в пунктах 1 и 2. Если плоскость срастания представлена третьим пинакоидом, то уравнение соблюдается только при $\psi = 0$ и $\psi = 90^\circ$ (см. выше пункт „2“). В сростках по второму пинакоиду уравнение соблюдается только при условии $\varphi = 90^\circ$ и $\psi = 0$ или $\varphi = 90^\circ$ и $\psi = 90^\circ$ (см. выше пункт „2Б“). При этом в обоих случаях (как для второго, так и для третьего пинакоида) должно быть $i = 90^\circ$.

Сопоставление всех полученных решений показывает, что у плагиоклаза главное направление двойников второго рода располагается в плоскости срастания лишь в следующих трех случаях:

во-первых, когда одна из биссектрис, Ng или Np , почти совпадает с плоскостью срастания;

во-вторых, если ось Ng почти перпендикулярна к плоскости срастания;

в-третьих, когда ось Nm почти перпендикулярна к плоскости срастания.

Основываясь на этом можно сформулировать следующие практические правила:

1. Если ось Ng почти совпадает с плоскостью срастания и индикатрисы почти параллельны друг другу, то двойниковая ось совпадает с осью Ng . Плоскостью срастания является третий пинакоид, а двойниковой осью— $[010]$, состав плагиоклаза около № 17. Главное направление совпадает с осью $[100]$.

2. Если ось Np почти совпадает с плоскостью срастания и индикатрисы почти параллельны друг другу, то двойниковая ось совпадает с осью Np . Плоскостью срастания служит третий пинакоид, а двойниковой осью— $[100]$; состав плагиоклаза около № 34. Главное направление почти совпадает с осью $[010]$.

3. Если ось Ng совпадает с нормалью к плоскости срастания, то таковая является вторым пинакоидом, а состав плагиоклаза близок к олигоклазу (от № 17—18 до № 24). Закон двойникового остается в большинстве случаев неопределенным.

4. Если ось Nm перпендикулярна к плоскости срастания (т. е. когда обе биссектрисы почти совпадают с этой плоскостью), то двойник образован по периклиновому закону, а двойниковая ось $[010]$ почти совпадает с осью Ng . Главное направление совпадает с $[100]$ и осью Np . Состав плагиоклаза около № 17—18.

Будучи очень простыми, правила эти могут быть легко усвоены даже мало опытным работником и тем самым гарантируют от каких-либо ошибок в отношении главного направления. Ошибка может произойти только тогда, когда исследователь, не обратив внимания на то, что имеет дело с граневым двойником, будет искать в его плоскости срастания двойниковую ось второго рода. Например, если объектом изучения был альбитовый двойник, и если он был принят по невнимательности за двойник второго рода, то исследователь определит главное направление альбитового двойника как ось $[001]$ Карлсбадского закона и сделает вывод, что либо она в данном кристалле расположена аномально, отклоняясь от соответствующей кривой на диаграмме В. В. Никитина на $8-10^\circ$, либо же что измерение было сделано мало точным методом. Оба вывода будут, конечно, ошибочными.

Поступила 15.1.1958

Լ. Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆՑ

ՊԼԱԳԻՈԿԼԱՉԻ ԿՐԿՆԱՔՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ՓԼԽԱՎՈՐ ՈՒՂՂՈՒԹՅՈՒՆԸ

(Փլիսավոր ուղղության տեսության կիրառումը
պլագիոկլազների հետազոտությունում)

Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում ստերեոկոնոսկոպիկ պատկերների ունիվերսալ հավասարության օգնությամբ մաթեմատիկորեն ապացուցված է, որ պլագիոկլազներում 2-րդ կարգի կրկնաբյուրեղի գլխավոր ուղղությունը կարող է գտնվել առանձինների աճման հարթությունում միայն հետևյալ չորս դեպքերում:

1.— Երբ Ng առանցքը համարյա համընկնում է աճման հարթության հետ և ինդիկատորիսները համարյա զուգահեռ են միմյանց: Կրկնաբյուրեղային առանցքը համընկնում է Ng առանցքի հետ և հանդիսանում է $[010]$ առանցք, իսկ գլխավոր ուղղությունը համընկնում է $[100]$ առանցքի հետ: Աճման հարթությունը հանդիսանում է պինակոիդը և պլագիոկլազի կազմը մոտավորապես № 17-ն է:

2.— Եթե Np առանցքը համարյա համընկնում է աճման հարթության հետ և ինդիկատորիսները համարյա զուգահեռ են միմյանց: Կրկնաբյուրեղային առանցքը համընկնում է Np առանցքի հետ և հանդիսանում է $[100]$ առանցք, իսկ գլխավոր ուղղությունը համընկնում է $[010]$ առանցքի հետ: Աճման հարթությունը հանդիսանում է պինակոիդը, իսկ պլագիոկլազի կազմը մոտավորապես № 34-ն է:

3.— Երբ Ng առանցքը համընկնում է աճման հարթության նորմալի հետ, որը այս դեպքում հանդիսանում է պինակոիդը, պլագիոկլազը ըստ կազմի մոտ է օլիգոկլազի (№ 17-ից մինչև № 24-ը): Կրկնաբյուրեղացման օրենքը մեծ մասամբ մնում է անորոշ:

4.— Երբ Nm առանցքը համարյա ուղղահայաց է աճման հարթությանը: Այս դեպքում կրկնաբյուրեղացման օրենքը պերիկլինային է: $[010]$ կրկնաբյուրեղային առանցքը համարյա համընկնում է Ng առանցքի հետ, իսկ գլխավոր ուղղությունը՝ $[100]$ առանցքի և Np -ի հետ: Պլագիոկլազի կազմը 17 — 18 է:

Պլագիոկլազների կրկնաբյուրեղային երկրորդ կարգի առանցքի որոշման ժամանակ, այս ցուցանիշներով ղեկավարվելիս լրիվ վերացվում է սխալվելու հնարավորությունը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Варданянц Л. А. Основы стереоконоскопического метода. Изд. АН АрмССР, 1947.
2. Варданянц Л. А. О стереоконоскопическом методе и его отношении к федоровскому методу. Сборник „Универсальный столик Е. С. Федорова“. Изд. АН СССР, 1953.
3. Варданянц Л. А. К теории и практике федоровского метода. Вестн. Ленингр. Гос. универс., № 18, 1956.
4. Доливо-Добровольский В. В. О некоторых свойствах главного направления в двойниках. Зап. Всес. Минералог. общ., ч. 81, № 2, 1952.
5. Заварицкий В. А. О возможном усовершенствовании универсального столика Федорова. Зап. Всес. Минералог. общ., ч. 78, № 2, 1949. См. также в сборнике „Универсальный столик Е. С. Федорова“. Изд. АН СССР, 1953.
6. Соболев В. С. Федоровский метод. Госгеолтехиздат, М., 1954.