

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Л. А. Варданянц

Член-корреспондент АН Армянской ССР

Основы теории двойниковых триад плагиоклаза

Двойники плагиоклаза изучаются уже в течение многих десятилетий, а общая их теория была разработана почти 40 лет тому назад; тем не менее главные закономерности остаются до сих пор невыясненными, так как внимание было обращено только на изучение частных форм двойникования; сложные же формы взаимоотношений двойникованных кристаллов, т. е. архитектура двойниковых образований еще не была предметом научного исследования. Показателем этого могут служить все руководства по минералогии, где кратко отмечается лишь то, что плагиоклаз образует двойники, в большинстве полисинтетические, по законам альбитовому, карлсбадскому, манебахскому, периклиновому и др. Можно обратить внимание также и на категорические указания некоторых крупных ученых, что вполне вероятны двойники плагиоклаза только по тем немногим законам, которые сопровождаются срастанием индивидов по второму пинакoidу и частью по ромбическому сечению, и что мало вероятны двойники по законам $\perp(021)$, $\perp(0\bar{2}1)$, $\perp(110)$, $\perp(1\bar{1}0)$ и даже по закону $\perp(001)$.

Общая теория двойников плагиоклаза предусматривает также триады, т. е. сростки, состоящие из трех или четырех индивидов, связанных друг с другом тремя взаимно перпендикулярными осями. Детальным изучением триад никто до сих пор не занимался, и установилось, в общем, представление, что они не играют существенной роли.

Детальные исследования автора данной статьи показали несостоятельность современной постановки вопроса о двойниках плагиоклаза и необходимость новой теории, которая могла бы объяснить не только законы образования отдельных элементарных двойников, но и общие законы архитектуры сложных двойниковых образований этого минерала. Главные результаты этого исследования и основные положения новой триадной теории могут быть представлены кратко в следующем виде.

1. Триады плагиоклаза как по второму, так и по третьему пинакoidу встречаются во всех изверженных породах чрезвычайно часто, и сравнительно редки такие двойники, в отношении которых

можно было бы ручаться, что в них нет триады. При этом триады второго пинакоида встречаются несколько чаще, чем триады третьего пинакоида.

2. Очень распространены также сложные двойники со срастанием второго пинакоида одного агрегата с третьим пинакоидом второго, как следствие двойникования по бавенскому закону $\perp(021)$ или $\perp(0\bar{2}1)$, ибо перпендикуляры к этим граням являются почти точно биссектрисами углов между вторым и третьим пинакоидами.

3. Довольно распространен новый, неизвестный до сих пор, закон по $\perp[101] \parallel (010)$, входящий в состав триады второго порядка $\perp(010) + [101] \parallel (010) + \perp[101] \parallel (010)$. Самостоятельных полисинтетических двойников этот новый закон, повидимому, не образует.

4. Не очень часты, но встречаются сложные двойники со срастанием первичных агрегатов по двум новым триадам второго порядка $[001] + \perp(130) + \perp(1\bar{1}0)$ и $[001] + \perp(\bar{1}30) + \perp(110)$, которые приводят к совмещению грани (010) одного агрегата с гранью (110) или $(1\bar{1}0)$ другого.

5. Иногда наблюдаются также сложные двойники, образованные посредством триады второго порядка $\perp(001) + \text{бис. } [100] \wedge [010] + \text{бис. } [100] \wedge [0\bar{1}0]$, содержащей в своем составе биссектрисы углов между осями $[100]$ и $[010]$. Плоскостью срастания агрегатов служит здесь (001) , причем сам двойник винтового типа.

6. В образовании двойников плагиоклаза очень важную роль играют комплексные двойниковые оси в составе следующих пар почти совпадающих векторов: $\perp(010) + [010]$, $\perp(001) + \perp[100] \parallel (010)$ и $[100] + \perp[010] \parallel (001)$. Особенностью их является возможность одновременного срастания одних и тех же индивидов как по (010) , так и по (001) . До сих пор это свойство считалось присущим только двойникам по закону $[100]$. Комплексные двойниковые оси являются функцией способности альбита и анортита к образованию полного и непрерывного изоморфного ряда, несмотря на то, что главные элементы их кристаллов не совпадают, образуя угол до $1^\circ - 3^\circ$.

7. Двойники плагиоклаза представляют сложный комплекс сложно построенных элементов и агрегатов, и здесь нужно различать структуры трех категорий: основные двойниковые ячейки, основные триады и комплексы триад. В каждой из этих категорий действуют свои особые законы двойникования и проявляются свои особые формы двойниковых срастаний. Это обстоятельство до сих пор было мало известным; во всяком случае оно не учитывалось при соответствующих исследованиях.

Основными двойниковыми ячейками (т. е. основными кирпичиками, составляющими фундамент всего двойникового сооружения) служат, главным образом, полисинтетические двойники по наиболее сильным законам $\perp(010)$ и $\perp(001)$. Периклиновый закон мы здесь

не рассматриваем, так как его отношение к триадам еще не вполне выяснено.

Такие ячейки каждого типа, будучи в обращенном друг к другу положении, обладают широкой способностью срастаться друг с другом по общей для них плоскости срастания, причем должны совпадать одноименные плоскости, а именно (010) с (010) или $(0\bar{1}0)$ с $(0\bar{1}0)$, и соответственно (001) с (001) , или $(00\bar{1})$ с $(00\bar{1})$, но не плоскости (010) с $(0\bar{1}0)$ или (001) с $(00\bar{1})$. При этом образуется псевдоромбический сросток из четырех индивидов, представляющий всегда геометрическую триаду, которая становится кристаллографически закономерной только в том случае, когда оси этой триады, лежащие в плоскости срастания, совпадают с кристаллографическими осями одной и другой ячейки. Отличить геометрическую триаду от кристаллографической можно лишь тогда, когда точно определена ориентировка кристаллов в индивидах обеих ячеек. При обычном же оптическом исследовании, когда измеряются только двойниковая ось и плоскость срастания, распознать геометрическую триаду не представляется возможным.

Основными триадами являются, повидимому, лишь следующие три, состоящие из наиболее сильных двойниковых законов плагиоклаза.

$$\perp(001) + [100] + [010] \quad (1)$$

$$\perp(010) + [100] + \perp[100] \parallel (010) \quad (2)$$

$$\perp(010) + [001] + \perp[001] \parallel (010) \quad (3)$$

Первая из этих триад является эквивалентом двух триад

$$\perp(001) + [100] + \perp[100] \parallel (001) \quad (4)$$

$$\perp(001) + [010] + \perp[010] \parallel (001), \quad (5)$$

которые неотличимы одна от другой, так как $[100]$, в пределах точности измерений, совпадает с $\perp[010] \parallel (001)$, и наоборот.

В свете новой теории, предусматривающей существование комплексных двойниковых осей, три основные триады могут быть даны также в следующем виде:

$$\left\{ \perp(001) + \perp[100] \parallel (010) \right\} + \left\{ [100] + \perp[010] \parallel (001) \right\} + \left\{ \perp(010) + [010] \right\} \quad (6)$$

$$\left\{ \perp(010) + [010] \right\} + \left\{ [100] + \perp[010] \parallel (001) \right\} + \left\{ \perp(001) + \perp[100] \parallel (010) \right\} \quad (7)$$

$$\left\{ \perp(010) + [010] \right\} + [001] + \perp[001] \parallel (010). \quad (8)$$

При таком толковании основных триад становится вполне понятной их исключительная способность к взаимному сочетанию и к усложнению, путем появления других триад в том же сростке, за счет присоединения новых индивидов, срастающихся с первоначальными по второй плоскости срастания.

Существующие теории двойников плагиоклаза предусматривают также и смешанные триады

$$[100] \parallel (001) + \perp(010) + \perp[100] \parallel (010) \quad (9)$$

$$[100] \parallel (010) + \perp(001) + \perp[100] \parallel (001), \quad (10)$$

но они не являются самостоятельными, будучи всего лишь не полноразвитыми сочетаниями основных триад (1) и (2).

Комплексы триад представляют или простые сочетания основных триад или триады триад. Последние образуются из основных триад их усложнением (закручиванием) посредством одной из следующих триад второго порядка, в состав которых входят, главным образом, комплексные двойниковые оси:

$$\perp(010) + \{[101] + [100]\} + \{\perp[10:] \parallel (010) + \perp[100] \parallel (010)\} \quad (11)$$

$$[100] + \{\perp(021) + \perp(0\bar{2}1)\} + \{\perp(0\bar{2}1) + \perp(021)\} \quad (12)$$

$$\perp(001) + \text{бис. } [100] \wedge [010] + \text{бис. } [010] \wedge [100] \quad (13)$$

$$[001] + \{\perp(130) + \perp(1\bar{3}0)\} + \{\perp(1\bar{1}0) + \perp(110)\} \quad (14)$$

Особенностью триад второго порядка является то, что они связывают друг с другом не отдельные индивиды основных триад, а только лишь их однотипные ячейки, играющие, таким образом, роль как бы нераздельной двойниковой молекулы. Лейтмотивом комплексов триад является стремление к наибольшему количеству двойниковых связей, возможных при том же числе индивидов. В некоторых случаях (см. ниже) сложные комплексы триад, а именно триады триад, могут обладать псевдотетрагональными и псевдогексагональными осями симметрии, притом как простыми, так и винтовыми.

8. Сочетания триад могут быть двух типов (сочетания разнородных и однородных триад) и образуются на базе основной ячейки, сложенной по закону $[100]$ с одновременным срastанием индивидов по (010) и (001) .

Первый тип. Сочетания разнородных триад. Возможны два случая.

Первый случай.

Первая триада: $\perp(001) + [100] + [010]$ с индивидами 1+2+3+4

Вторая триада: $\perp(010) + [100] + \perp[100] \parallel (010)$ " 1+2+5+6

причем индивиды 1 и 2 общие для обеих триад.

Второй случай.

Первая триада: $\perp(001) + [100] + [010]$ с индивидами 1+2+3+4

Вторая триада: $\perp(010) + [001] + \perp[001] \parallel (010)$ " 1+5+6+7

Третья триада: $\perp(010) + [100] + \perp[100] \parallel (010)$ " 1+2+5,

где сочетание первой триады со второю, при одном общем индивиде, обязательно сопровождается появлением и третьей триады, имеющей по два общих индивида, 1+2 и 1+5, с каждой из первых двух.

Второй тип. Сочетания однородных триад. Они образуются посредством связующих двойников, которые сами образованы по закону $\perp(010)$ или $\perp(001)$, при условии, что в триадах одна пара индивидов, например 1+2 и 5+6, связана по закону $[100]$, сопровождающемуся одновременным срastанием по (010) и по (001) .

Первый случай.

Первая триада: $\perp(010)+[100]+\perp[100] \parallel (010)$ с индивидами 1+2+3+4
 Вторая триада: $\perp(010)+[100]+\perp[100] \parallel (010)$ „ 5+6+7+8
 Связующие двойники: $\perp(001)$ „ 1+5 и 2+6

Второй случай.

Первая триада: $\perp(001)+[100]+[010]$ с индивидами 1+2+3+4
 Вторая триада: $\perp(001)+[100]+[010]$ „ 5+6+7+8
 Связующие двойники: $\perp(010)$ „ 1+5 и 2+6

9. Триады триад. Здесь может быть четыре типа образований.

Первый тип. Образование комплекса производится посредством триады второго порядка, содержащей в своем составе ось [101] или [100]. Возможны два случая.

Первый случай.

	Триады	Индивиды
первичная	$\perp(010)+[001]+\perp[001] \parallel (010)$	1+2+3+4
вторичная	$\perp(010)+[001]+\perp[001] \parallel (010)$	1a+2a+3a+4a
удваивающая	$\perp(010)+[100]+\perp[100] \parallel (010)$	1+2+1a+2a
результатируемая	$\perp(010)+[101]+\perp[101] \parallel (010)$	3+4+3a+4a

Удвоение первой триады производится здесь третьей триадой, и, как следствие, обязательно появляется четвертая, совпадающая с третьей, а именно, ось [101] совпадает с [100], а $\perp[101] \parallel (010)$ совпадает с $\perp[100] \parallel (010)$. При этом возникает псевдоромбический сросток. Повторное удвоение первой триады должно приводить к возникновению винтового сростка с псевдогексагональной винтовой осью симметрии, совпадающей с $\perp(010)$.

Второй случай.

	Триады	Индивиды
первичная	$\perp(010)+[100]+\perp[100] \parallel (010)$	1+2+3+4
вторичная	$\perp(010)+[100]+\perp[100] \parallel (010)$	1a+2a+3a+4a
удваивающая	$\perp(010)+[001]+\perp[001] \parallel (010)$	1+2+1a+2a
результатируемая	$\perp(010)+[101]+\perp[101] \parallel (010)$	

Удвоение первой триады производится посредством третьей, причем образуется псевдоромбический сросток. Повторное удвоение приводит и здесь, как и в предыдущем случае, к возникновению псевдогексагонального винтового сростка, причем обязательно появляется и четвертая триада. Винтовая ось и здесь совпадает с перпендикуляром к плоскости срастания (010).

Второй тип. Одна из основных триад (1), (2) или (3) закручивается триадой $[100]+\perp(021)+\perp(0\bar{2}1)$, причем смежные агрегаты срастаются разноименными плоскостями, т. е. второй пинакоид одного агрегата срастается с третьим пинакоидом второго. При этом ось [100] становится псевдотетрагональной осью симметрии всего комплекса.

Третий тип. Одна из основных триад (1), (2) или (3) закручивается триадой $\perp(001)+$ бис. $[100] \wedge [010]+$ бис. $[100] \wedge [0\bar{1}0]$, содержащей в своем составе биссектрисы углов между осями [100] и [010]. Плоскостью срастания смежных агрегатов служит здесь плос-

кость (001), причем агрегаты как бы повернуты один относительно другого на 90° . В результате этого возникают винтовые сростки с псевдотетрагональной осью симметрии всего комплекса, совпадающей с перпендикуляром к грани (001).

Четвертый тип. Одна из основных триад (2) или (3), содержащая в своем составе двойниковую ось $\perp(010)$, закручивается триадой второго порядка $[001] + \perp(130) + \perp(110)$ или подобной же триадой $[001] + \perp(130) + \perp(110)$. При этом возникает псевдоромбический сросток с совмещением разнородных плоскостей смежных агрегатов, а именно, плоскость (010) одного из них совмещается с плоскостью (110) или с $(\bar{1}\bar{1}0)$ другого. Если действующими являются обе эти триады второго порядка, то должен возникнуть комплекс с псевдогексагональной осью симметрии, совпадающей с осью [001].

10. Описанные выше 14 триадных комплексов, выведенные на основе триадной теории, являются наиболее простыми и вместе с тем наиболее главными из числа теоретически возможных. В настоящее время все они уже установлены автором в природе. Кроме того, возможны и другие, еще более сложные комплексы, предусмотреть которые все без исключения было бы, по существу, ненужной задачей, так как описанные здесь 14 типов вполне достаточны для понимания природы сложного процесса двойникового плагиоклаза.

Լ. Ա. Վարդանյանց

Հայկական ՍՍԻ ԳԱ ԲՊԹակից անդամ

ՊԼԱԳԻՈԿԼԱԶԻ ԿՐԿՆԱԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՏՐԻԱԴՆԵՐԻ ԹԵՈՐԻԱՅԻ ՀԻՍՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Պլագիոկլազի կրկնաբյուրեղներն արդեն ուսումնասիրվում են տասնյակ տարիներ, սակայն բյուրեղների փոխնարաբերությունների բարդ ձևերը որոշող գլխավոր օրինաչափությունները (այսինքն բարդ կրկնաբյուրեղային առաջացումների արխիտեկտուրան) մինչև հիմա դեռ մնում են չպարզված: Հեղինակի մանրամասն ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին պլագիոկլազի կրկնաբյուրեղների հարցի ժամանակակից դրվածքի սնանկությունը և դրա հետ միասին թույլ տվեցին առաջադրելու նոր (տրիազային) թեորիա: Այդ հետազոտությունների գլխավոր հետևանքները և տրիազային թեորիայի հիմնական գրությունները համառոտ կերպով կարող են տրվել հետևյալ ձևով:

1. Տրիազներն ինչպես երկրորդ, այնպես էլ երրորդ պինակոէդով, շատ տարածված են բոլոր հրային ապտոներում և հանդիսանում են պլագիոկլազների կրկնաբյուրեղների առաջացման հիմնական ձևը:

2. Շատ տարածված են բարդ կրկնաբյուրեղները Բապենի $\perp(021)$ և $\perp(0\bar{2}1)$ օրենքներով մեկ ազրեդատի (010) միակցումով մյուսի (001) հետ,

քանի որ այդ կրկնաբյուրեղային առանցքները հանդիսանում են (010) և (001) կողերով կազմված անկյան կիսողը:

3. Սահմանված է նոր կրկնաբյուրեղային օրենք $\perp[101] \parallel [010]$, որը մտնում է երկրորդ կարգի տրիադի կազմի մեջ՝ $\perp(010) + [101] + \perp[101] \parallel (010)$:

4. Սահմանված են բարդ կրկնաբյուրեղներ երկրորդ կարգի նոր տրիադներով՝ $[001] + \perp(130) + \perp(110)$ և $[001] + \perp(1\bar{3}0) + \perp(110)$, որոնք ուղեկցվում են մեկ ազդեցատի (010) միակցումով մյուսի (110) կամ $(1\bar{1}0)$ հետ:

5. Հաստատված է բարդ կրկնաբյուրեղների գոյությունը $\perp(001) + \perp$ բիսեկտ. $[100] \wedge [010] +$ բիսեկտ. $[100] \wedge [010]$ տրիադով, $[100]$ և $[010]$ առանցքներով կազմված անկյան բիսեկտրիսաներով և ազդեցատների միակցումով ըստ (001) :

6. Հայտնաբերված է $\perp(010) + [010]$, $\perp[001] + \perp[100] \parallel (010)$ և $[100] + \perp[010] \parallel (001)$ կոմպլեքս կրկնաբյուրեղային առանցքների գոյությունը, որոնք տալիս են անհայտների միակցում՝ միաժամանակ ըստ (010) և (001) :

7. Պլագիոկլադի կրկնաբյուրեղները ներկայացնում են բարդ կառուցված ազդեցատների կոմպլեքս և այդտեղ անհրաժեշտ է տարբերել երեք կատեգորիաների ստրուկտուրաներ՝ տարրական բջիջներ, հիմնական տրիադներ և տրիադների կոմպլեքսներ:

Տարրական բջիջները կազմվում են գլխավորապես $\perp(010)$ և $\perp(001)$ ամենաուժեղ օրենքներով: Միատարր բջիջներն ընդունակ են տրիադային տիպի աճակցորդներ տալու, որոնք բյուրեղագիտորեն միշտ չէ, որ օրինակաչափ են լինում:

Հիմնական տրիադներն են հետևյալ երեքը՝

$\perp(001) + [100] + [010]$, $\perp(010) + [100] + \perp[100] \parallel (010)$ և $\perp(010) + [001] + \perp[001] \parallel (010)$: Դրանցից առաջինը համարժեք է $\perp(001) + [100] + \perp[100] \parallel (001)$ և $\perp(001) + [010] + \perp[010] \parallel (001)$ երկու տրիադների, որոնք գործնականորեն իրարից չեն տարբերվում: Հիմնական տրիադներում նրանց կազմող կրկնաբյուրեղային առանցքները կարող են փոխարինվել կոմպլեքսայիններով և այդ դեպքում հասկանալի է դառնում բարդ աճակցորդների առաջացնելու տրիադների բացառիկ ընդունակությունը:

Նառը տրիադները $[100] \parallel (001) + \perp(010) + \perp[100] \parallel (010)$ և $[100] \parallel (010) + \perp(001) + \perp[100] \parallel (001)$ խնչուրույն չեն:

Տրիադների կոմպլեքսներն իրենցից ներկայացնում են կամ հիմնական տրիադների պարզ կոմբինացիաներ կամ տրիադների տրիադներ: Վերջիններս կազմվում են հիմնական տրիադներից երկրորդ կարգի հետևյալ տրիադների միջոցով՝

$$\perp(010) + \{[101] + [100]\} + \{[101] \parallel (010) + \perp[100] \parallel (010)\},$$

$$[100] + \{\perp(021) + \perp(0\bar{2}1)\} + \{\perp(0\bar{2}1) + \perp(021)\},$$

$$\perp(001) + \text{բիսեկտ. } [100] \wedge [010] + \text{բիսեկտ. } [100] \wedge [010],$$

$$[001] + \{\perp(130) + \perp(1\bar{3}0)\} + \{\perp(1\bar{1}0) + \perp(110)\},$$

որոնք ունեն գլխավորապես կոմպլեքս կրկնաբյուրեղային առանցքներ: Ծրկրորդ կարգի տրիադները կապում են հիմնական տրիադների ոչ առանձին անհատները, այլ նրանց տարրական բջիջները:

8. Տրիադների կոմբինացիաները կարող են լինել հետևյալ ձևերի՝

Տա. Տարասեռ տրիադների կոմբինացիա՝ $\perp(001)+[100]+[010]$ և $\perp(010)+[100]+\perp[100] \parallel (010)$, որոնք ունեն երկու ընդհանուր անհատ:

Տբ. Տարասեռ տրիադների կոմբինացիա՝ $\perp(001)+[100]+[010]$ և $\perp(010)+[001]+\perp[001] \parallel (010)$, որոնք կապված են $\perp(010)+[100]+\perp[100] \parallel (010)$ տրիադով:

Տգ. Միատարր տրիադների կոմբինացիա՝ $\perp(010)+[100]+[100] \parallel \parallel (010)$, որոնք կապված են $\perp(001)$ օրենքի պարզ կրկնաբյուրեղներով:

Տդ. Միատարր տրիադների կոմբինացիա՝ $\perp(001)+[100]+[010]$, որոնք կապված են $\perp(010)$ օրենքի պարզ կրկնաբյուրեղներով:

9. Տրիադների տրիադները կարող են լինել չորս տիպի:

Չա. $\perp(010)+[001]+\perp[001] \parallel (010)$ տրիադը պատվում է $\perp(010)+[100]+\perp[100] \parallel (010)$ տրիադով: Ընդորում անպատճառ առաջանում է երկրորդի հետ համընկնող երրորդ տրիադը՝ $\perp(010)+[101]+\perp[101] \parallel (010)$: Հիմնական տրիադի կրկնվող կրկնապատկման դեպքում առաջանում է $\perp(010)$ հետ համընկնող համաչափության պսեվդոհեքսագոնային պտուտակային առանցք ունեցող կոմպլեքս:

Չբ. Հիմնական տրիադներից մեկը պտտվում է $[100]+\perp(021)+\perp(0\bar{2}1)$ տրիադով, ըստորում առաջանում է համաչափության $[100]$ հետ համընկող պսեվդոտետրագոնային առանցք ունեցող մի կոմպլեքս մեկ ազրեզատի (010) միակցումով մյուսի (001) հետ:

Չգ. Հիմնական տրիադներից մեկը պտտվում է $\perp(001)+$ քիսեկա. $[100] \wedge [010]+$ քիսեկա. $[100] \wedge [0\bar{1}0]$ տրիադով ազրեզատների միակցումով ըստ (001) , ընդորում առաջանում է աճակցորդ $\perp(001)$ հետ համընկնող համաչափության պսեվդոտետրագոնային պտուտակային առանցքով:

Չդ. Հիմնական տրիադներից մեկը (երկրորդը կամ երրորդը) պտտվում է $[001]+\perp(130)+\perp(1\bar{1}0)$ կամ $[001]+\perp(130)+\perp(110)$ տրիադով: Ընդորում տեղի է ունենում մեկ ազրեզատի (010) միակցումը մյուսի (110) կամ $(1\bar{1}0)$ հետ և առաջանում է մի կոմպլեքս համաչափության պսեվդոհեքսագոնային առանցքով, որը համընկնում է $[001]$ առանցքի հետ:

10. Բացի տրիադների նկարագրված 14 կոմպլեքսից կարող են լինել նաև ուրիշ, է՛լ ավելի բարդ կոմպլեքսներ, որոնց դուրս բերելու կարիք չկա, քանի որ նկարագրված 14 կոմպլեքսները լրիվ կերպով հնարավորություն են տալիս հասկանալու պլազիոկլադի կրկնաբյուրեղների իրական բնույթը: