

А. С. МАРФУНИН

НАБЛЮДЕНИЯ НАД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕВРАЩЕНИЙ
ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Фазовые превращения в твердом состоянии, как это показывают структурные и минералогические исследования последних десятилетий, играют большую, недостаточно еще оцениваемую роль в образовании породо- и рудообразующих минералов, в том числе многих из наиболее распространенных. Но ни в одной группе минералов они не проявляются так полно и разнообразно, как в полевых шпатах. Упорядочение, распад, двойникование составляют важнейшие этапы их истории в твердом состоянии.

Однако переход от термодинамических расчетов, кристаллохимических представлений и экспериментальных исследований к использованию этих превращений в качестве индикаторов условий природных процессов минералообразования сопряжен со значительными трудностями, связанными главным образом с оценкой кинетических факторов.

Поэтому представляется целесообразным использовать то обстоятельство, что в полевых шпатах одновременно могут наблюдаться результаты упорядочения, распада и двойникования для установления, путем непосредственных наблюдений, времени и последовательности этих явлений. В принципе это тот же метод наблюдения над зарождением и морфологией растущих кристаллов, который применяет для решения вопросов генетической минералогии Д. П. Григорьев (1947), но перенесенный в область перестройки минералов в твердом состоянии.

ВРЕМЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СОСТОЯНИЯ УПОРЯДОЧЕННОСТИ

То или иное состояние упорядоченности может возникнуть: 1) во время кристаллизации а) равновесно в поле устойчивости фазы с соответствующей степенью порядка; б) метастабильно, в поле устойчивости более (но не менее) упорядоченной фазы (например, санидин в поле устойчивости микроклина, но не наоборот); 2) в процессе упорядочения, происходящего а) в равновесных условиях после достижения температуры начала упорядочения; б) после метастабильной кристаллизации неупорядоченной или частично упорядоченной фазы.

На метастабильную кристаллизацию неупорядоченных калиевых полевых шпатов указывают случаи нахождения их с малыми углами оптических осей в условиях, для которых имеются какие-либо индикаторы хотя бы примерной температуры образования. В пустотах эльджуртинских порфириовидных гранитов (Тырны-Ауз, Северный Кавказ) наблюдаются друзы (рис. 1) низкотемпературного β -кварца с существенно неупорядо-

ченным калиево-натровым полевым шпатом, моноклинным, имеющим в ядре состав — $Or_{75,4} Ab_{24,6}$ и $2V = -56^\circ$, на краю кристаллов — $Or_{82,5} Ab_{17,5}$ и $2V = -43^\circ$. Санидин с $-2V = 7-50^\circ$ из слюдяных пегматитов Алдана описан Д. С. Коржинским (1945). Уже в 1944 г. Д. С. Белякин (1958), указывая на склонность калиевых полевых шпатов к метастабильной кристаллизации, ссылался на данные Феннера, описавшего санидинообразные полевые шпаты с $-2V = 33-51^\circ$ из района гейзеров Йеллоустонского парка Северной Америки. Ряд образцов, описываемых в литературе под различными названиями, представляет собой по оптическим и рентгенографическим данным неупорядоченные полевые шпаты.

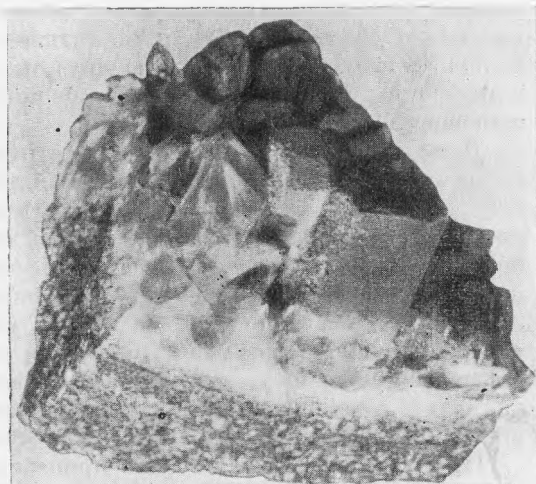


Рис. 1. Друза высокотемпературного калиевого шпата и низкотемпературного кварца в пустотах Эльджуртинского массива порфировидных графитов (Тыры-Ауз)

К ним следует отнести адуляры, железистые ортоклазы, лунные камни с углами оптических осей менее $40-45^\circ$. Неоднократно описывавшийся (Кумбс, 1956) железистый ортоклаз с Мадагаскара, иногда содержащий всего лишь $0,5-0,8\%$ Fe_2O_3 с $2V$ от -50° в плоскости $\perp (010)$ до -33° в плоскости $\parallel (010)$, встречается в пустотах пегматитов с кварцем, апатитом, пироксеном, халцедоном и др. Уже А. Лакруа (Lacroix, 1922) отметил сходство его с санидином, но указывал, что он относится к сравнительно низкотемпературным минералам.

При гидротермальном синтезе калиевых полевых шпатов неизменно (Гольдсмит и Лавес, 1956) кристаллизуется метастабильно неупорядоченная модификация даже при температурах до 525° . Только «высокотемпературная» модификация альбита получается в подобных же экспериментах (Татти и Боуэн, 1952) при температурах от 1000 до 250° .

Все минералы (в особенности силикаты), которые могут существовать в различных структурных состояниях, склонны в большей или меньшей степени к метастабильной кристаллизации с образованием первоначально более «высокотемпературных», более «простых» по структуре форм. Это эмпирическое обобщение соответствует физико-химическому «правилу ступеней» Оствальда и кристаллохимическому «принципу более легкой кристаллизации более простых форм», предложенному Гольдсмитом (Goldsmith, 1953). Для калиевых полевых шпатов более простой, более симметричной формой является, естественно, неупорядоченная модификация — санидин. Это указывает только на то, что калиево-натровые полевые шпаты могут и склонны кристаллизоваться и, как удается установить в ряде случаев, действительно кристаллизуются в природе метастабильно в виде неупорядоченной модификации.

Могут ли калиево-натровые полевые шпаты кристаллизоваться в упорядоченном состоянии? Прямые указания на это единичны, так как в большинстве случаев можно предположить, что упорядоченное состояние возникло не при кристаллизации, а в твердом состоянии. Все же

можно привести два наблюдения несомненной кристаллизации упорядоченной модификации: 1) присутствие максимального микроклина и «низкого» альбита в качестве аутигенных минералов (Baskin, 1956; Егоров и Марфуни, 1958); 2) искусственное получение микроклина, как продукта замещения альбита (Laves, 1952).

Для определения, в каком структурном состоянии кристаллизовался калиевый полевой шпат в какой-либо горной породе, могут служить колебания степени упорядоченности в пределах отдельных кристаллов, которые практически устанавливаются по оптическим свойствам, главным образом по углу оптических осей (Марфуни, 1960, 1961). В природных процессах, идущих необратимо с понижением температуры, может происходить переход только из менее упорядоченного состояния в более упорядоченное. Поэтому наименьшая величина $2V$ калиевого полевого шпата данной породы имеет принципиальное значение. Оно означает, что калиевый полевой шпат кристаллизовался по крайней мере со степенью упорядоченности, отвечающей данному $2V$, или еще меньшей.

Прямые указания на то, что процесс упорядочения может происходить в твердом состоянии, дают следующие наблюдения. В уникальном образце промежуточного — максимального микроклин-пертита из пегматитов Таймыра (А. С. Марфуни, С. В. Рыкова¹) оптически отчетливо наблюдается изменение степени триклинности, отвечающей здесь степени упорядоченности, в направлении от середины калиевополевошпатовых полос к альбитовым. Это изменение сопровождается исчезновением в сильно триклинных участках тонких пертитовых вростков, присутствующих в середине полос калиевого полевого шпата. Следствием упорядочения в твердом состоянии являются упоминавшиеся выше колебания степени упорядоченности в пределах одного кристалла. Трудно представить себе рост кристалла из одного зародыша с резко неоднородно распределенной (незональной) степенью упорядоченности. Связь морфологии участков различной упорядоченности с включениями, деформацией, пертитам, двойникованием также указывает на то, что процесс проходит в твердом состоянии. Последние взаимоотношения рассматриваются ниже.

О ВОЗРАСТЕ ДВОЙНИКОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ВОЗРАСТА КРИСТАЛЛА

Двойникование полевых шпатов может подразделяться по числу сдвойникованных индивидов (простое и полисинтетическое), закону сращения, симметрии индивидов (двойникующихся по различным законам), кристаллохимическим особенностям двойников по различным законам, времени образования двойников относительно времени образования кристалла и по причине двойникования.

1. Простые двойники могут возникать по любому возможному в полевых шпатах двойниковому закону. Однако двойники по закону оси (карлсбадские, эстерельские и др.) встречаются только как простые. Двойники по закону нормали к оси не наблюдались в полевых шпатах так, чтобы их достаточно уверенно можно было принять за самостоятельные, а не рассматривать как равнодействующие для осевых и граневых двойников. Полисинтетическими в полевых шпатах бывают только альбитовые и периклиновые двойники.

2. Альбитовые и периклиновые двойники возможны по геометрическим основаниям только в триклинных щелочных полевых шпатах. Все остальные двойники (карлсбадские, бавенские, манебахские и др.) возможны как

¹ См. статью А. С. Марфуни и С. В. Рыковой в настоящем сборнике.

в триклинных, так и в моноклинных калиево-натровых полевых шпатах.

3. По кристаллохимическим соотношениям альбитовое и периклиновое двойникование также отличается от двойникования по другим двойниковым законам, представляя собой попытку имитировать более высокую — моноклинную симметрию, к которой очень близка структура индивидов (Taylor, Darbyshire and Strunz, 1934). Именно этот тип двойникования может вызвать соотношения между сдвойникованными и несдвойникованными кристаллами, относящиеся к группе явлений, рассматриваемых как полиморфизм вследствие субрентгеновского двойникования (Ito, 1950).

4. По времени образования в полевых шпатах с несомненностью устанавливаются двойники, возникающие во время кристаллизации и после нее, в твердом состоянии. На существование первых указывают морфологические наблюдения над двойниками прорастания или двойниками с развитием неравным по длине индивидов (вдоль двойниковой плоскости). В подобных прорастаниях и срастаниях наблюдаются только простые двойники. Для возникновения двойника в процессе кристаллизации необходимо значительное переохлаждение расплава или раствора (Buerger, 1945). Это переохлаждение наиболее высоко при образовании зародышей, при дальнейшем их росте не достигает подобной величины. Поэтому двойники роста — «двойники зародышевого переохлаждения», в общем случае должны быть простыми.

Особый интерес для настоящей работы представляют наблюдения, указывающие на образование двойников в твердом состоянии. Эти наблюдения относятся исключительно к полисинтетическим (альбитовым и периклиновым) двойникам.

Приведенные выше соображения о том, что двойники, возникающие во время кристаллизации, обычно бывают и должны быть простыми, означают одновременно, что полисинтетические двойники должны образовываться иным путем. О двойниковании полевых шпатов в твердом состоянии свидетельствует то, что полисинтетические двойники плагиоклазов (Emmons and Gates, 1943) и микролина образуются после трещинок протоклаза: они не продолжают за эти трещинки или не совпадают по числу и размерам по обе стороны от трещинки.

Выклинивание полисинтетических двойников в изогнутых кристаллах в динамометаморфизованных породах происходит, очевидно, при пластической деформации этих кристаллов. Периклиновые двойники пересекают альбитовые (рис. 2). При выклинивании альбитовых двойников происходит деформация прилегающей к ним части кристалла. Полисинтетическое двойникование часто представляет собой неоднократный процесс: в пределах более крупных альбитовых двойников наблюдается тонкое периклиновое двойникование (или наоборот), что свидетельствует о наличии

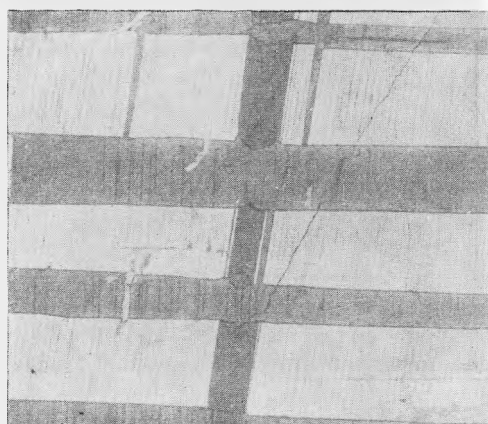


Рис. 2. Разновременное образование альбитовых и периклиновых двойников в лаборатории Коростеньского массива. Николи+, увел. 30

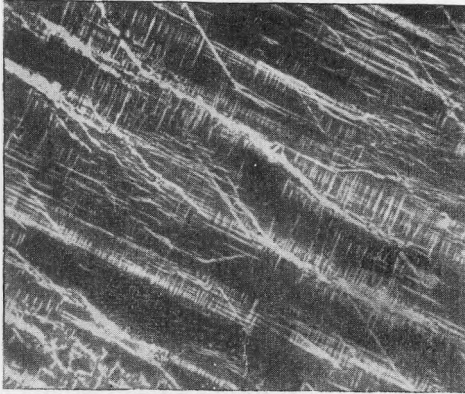


Рис. 3. Приуроченность решетчатого двойникования к пертитовым жилкам. Коростышевский гранит. Украина. Николи +, увел. 10

стности, решетчатое, крипторешетчатое и, предположительно, субрентгеновское двойникование калиевых полевых шпатов происходит после кристаллизации, в твердом состоянии.

ДВОЙНИКОВАНИЕ И РАСПАД

Обе фазы пертитов распада всегда сдвойникованы (за исключением редких санидин-пертитов). Отчетливо это устанавливается рентгенографически, методом колебаний в альбитовой фазе, где двойникование бывает субмикроскопическим или наблюдается двойниковая сверхструктура (Smith and MacKenzie, 1959; Марфунин, 1960).

В случае отсутствия явного решетчатого или крипторешетчатого двойникования в калиево-полевошпатовой фазе, при углах оптических осей более $45-50^\circ$ следует предполагать субрентгеновское уравновешенное или неуравновешенное двойникование.

В микроклин-пертитах распределение решетчатого двойникования контролируется пертитовыми жилками (рис. 3).

Сегрегация пертитов сопровождается укрупнением — собирательной перекристаллизацией — двойникования (рис. 4). Участки субмикроскопически сдвойникованные — субмикроскопически пертитовые — имеют характер реликтов среди тонкорешетчатого, криптопертитового калиевого полевого шпата.

Эти наблюдения показывают, что полисинтетическое двойникование калиево-натровых полевых шпатов связано с процессом распада твердого раствора и происходит одновременно с ним в стадию сегрегации.

УПОРЯДОЧЕНИЕ И ДВОЙНИКОВАНИЕ

Двойникование в твердом состоянии может быть следствием фазового превращения или скольжения.

Общее описание двойникования вследствие фазового превращения (Vierger, 1945) сводится к следующему. В паре кристаллов, связанных «высоким—низким» превращением, симметрия низкотемпературной формы является подгруппой симметрии высокотемпературной формы. «Низкая»

различных генераций двойников (Baier, 1930). Для калиево-натровых полевых шпатов следует отметить морфологию решетчатых микроклинов, характерную для двойникования в твердом состоянии, но не в процессе кристаллизации, появление или укрепление двойникования около включений, особые взаимоотношения альбитовых и периклиновых двойников в микроклинах (Лавес, 1952), иррациональное двойникование крипторешетчатых микроклинов (Марфунин и Рыкова, 1960).

Перечисленные наблюдения позволяют сделать здесь следующий вывод: полисинтетическое двойникование полевых шпатов происходит в твердом состоянии. В частности, решетчатое, крипторешетчатое и, предположительно, субрентгеновское двойникование калиевых полевых шпатов происходит после кристаллизации, в твердом состоянии.

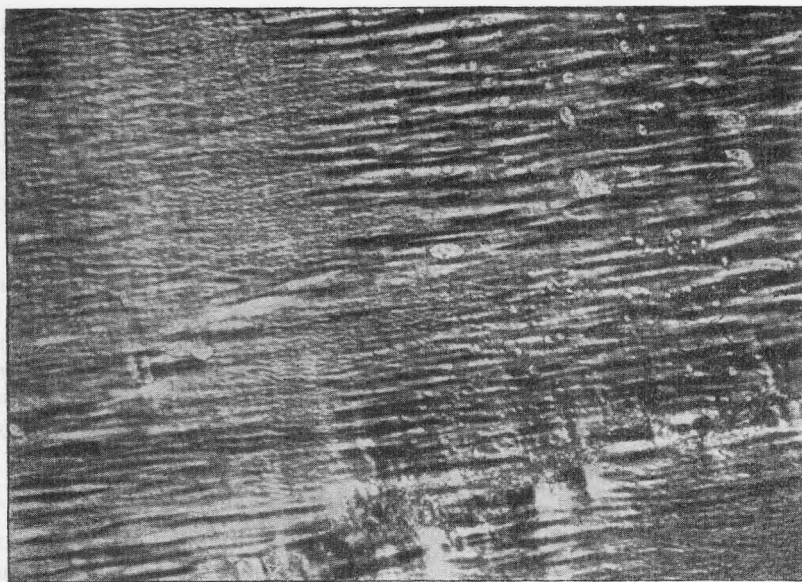


Рис. 4. Укрупнение двойниковых индивидов сопровождается укрупнением (сегрегацией) пертитовых «капель» альбита. Адабаш, Ново-Украинский массив. Николи +, увел. 40

форма образуется из «высокой» с понижением симметрии. Это может происходить таким образом, что зародыши «низкой» формы будут иметь более чем одну ориентировку относительно «высокой» формы. Эта различная ориентировка и будет двойниковой.

Типичным примером подобных взаимоотношений являются существенно калиевые полевые шпаты. Неупорядоченная форма — моноклинная (геометрически не может быть sdвойникова по альбитовому и периклиновому законам) при упорядочении переходит в триклинную форму, зародыши которой могут обладать различной ориентировкой, что и приводит к двойникованию. Согласно геометрическим теориям двойникования (Friedel, 1904; Sahn, 1949), последнее возникает в полевых шпатах тем легче, чем меньше углы α и γ отклоняются от 90° , т. е. чем меньше «анортотластичность».

В соответствии с этим начальные стадии упорядочения, когда имеют место лишь небольшие отклонения калиевых полевых шпатов от моноклинной симметрии, представляют собой наиболее благоприятные условия для двойникования.

Это подтверждается наблюдениями: лишь в виде исключения и в особых условиях встречаются несдвойникованные микроклины; ортоклазы представляют собой субмикроскопически или субрентгеновски sdвойникованные калиевые полевые шпаты различной упорядоченности (Hafner und Laves, 1957; Марфунин, 1960).

Двойникование скольжения — второй тип двойникования в твердом состоянии — связано с состоянием упорядоченности; оно легче происходит в менее упорядоченной форме, чем в более упорядоченной (Laves, 1952). Скольжение может происходить вследствие пластической деформации в динамометаморфизованных породах или, как предполагают Эммонс и Гейтс (Emmons and Gates, 1943), всего лишь в результате столкновений растущих в расплаве кристаллов.

Указанием на образование кристаллов из состояния с моноклинной симметрией являются взаимоотношения альбитового и периклинового двойникования в решетчатых микроклинах (Лавес, 1952). Иррационально сдвойникованные калиевые полевые шпаты (Марфуни и Рыкова, 1960) также могут образовываться лишь из моноклинного кристалла. При этом моноклинная симметрия должна соответствовать неупорядоченному состоянию и лишь в качестве промежуточного этапа — субрентгеновскому альбитово-периклиновому двойникованию, так как последнее также должно возникать из неупорядоченного состояния.

Таким образом, альбит-периклиновое двойникование, возникающее, как показано в предыдущем разделе, в твердом состоянии, образуется в калиевых полевых шпатах вследствие упорядочения их моноклинной неупорядоченной модификации (санидина). Можно предполагать, что все сдвойникованные микроскопически или субрентгеновски калиевые полевые шпаты на какой-то стадии своего развития существовали в виде санидинов.

УПОРЯДОЧЕНИЕ И РАСПАД

Согласно экспериментальным данным и предполагаемым фазовым диаграммам (Спенсер, 1952; Боуэн и Таттл, 1952; Лавес, 1956), упорядочение и распад в равновесных условиях происходят в различных температурных интервалах: после равновесной кристаллизации неупорядоченной фазы начинается упорядочение, а при дальнейшем понижении температуры — распад твердого раствора. Однако резкие изменения в эту схему могут вносить два фактора: 1) метастабильная кристаллизация неупорядоченной фазы при температуре ниже кривой сольвуса; 2) кинетика процесса, проявляющаяся в большей скорости распада, чем упорядочения. Наблюдения показывают, что эти два явления взаимосвязаны. Фазы пертитового шпата редко бывают неупорядоченными. Не описаны калиево-натровые полевые шпаты (с содержанием альбитового компонента приблизительно более 10%), в какой-либо мере упорядоченные, но не претерпевшие распада. Калиевые полевые шпаты с промежуточной степенью упорядоченности обычно представляют собой криптопертиты (ортоклаз-криптопертиты), максимальные микроклины — обычно жильные пертиты.

Гомогенизация путем отжига криптопертитов с «высоким» альбитом происходит значительно быстрее, чем криптопертитов с упорядоченным альбитом (Лавес, 1956).

Прямое указание на то, что упорядочение и сегрегация протекают одновременно и взаимосвязанно, дают наблюдения упоминавшегося выше микроклин-пертита из пегматитов Таймыра (см. статью А. С. Марфунина и С. В. Рыковой в настоящем сборнике).

ВКЛЮЧЕНИЯ В КАЛИЕВЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТАХ И ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

В калиевых полевых шпатах самых разнообразных пород (интрузивных и эффузивных, магматитов и пегматитов, гранитов и сиенитов и т. д.) встречаются включения плагиоклаза, кварца, биотита, пироксена, апатита и других минералов. Если в этих случаях в пределах кристалла калиевого полевого шпата наблюдаются колебания свойств, то они, как правило, приурочены к этим включениям. В крипорешетчатом промежуточном микроклине из Ново-Украинского массива около включений плагиоклаза мы наблюдали характерные колебания оптической ориентировки: перемещение оптической оси *A* при почти постоянной оси *B*.



Рис. 5. Зависимость уравновешенности двойникования крипторешетчатого микроклина от включений плагиоклаза и кварца. Войновка, Ново-Украинский массив. Николи+, увел. 10.

Подобные колебания указывают на изменение упорядоченности, в данном случае на увеличение ее, около включений (Марфунин, 1961).

В крипторешетчатых максимальных микроклинах из того же массива около включений наблюдаются колебания уравновешенности двойникования при постоянной (максимальной) упорядоченности (рис. 5), а также укрупнение пертитовых вростков. В подобных случаях включения служат контрфорсом для сил, вызывающих перестройку кристалла.

ВЗАИМОСВЯЗАННОСТЬ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Выше были рассмотрены двойные отношения превращений, происходящих в полевых шпатах, без привлечения какого-либо третьего явления. Попытаемся теперь сопоставить все эти наблюдения и сделать вытекающие из них выводы.

Перечисленные наблюдения имеют различную значимость. Одни указывают на возможность только одного типа превращения (решетчатое двойникование можно представить в настоящее время только как результат превращения из состояния с моноклинной симметрией). Другие наблюдения не отрицают возможность иного течения процесса, но имеющиеся данные указывают только на существование одного варианта. Так, не наблюдались существенно упорядоченные калиево-натровые полевые шпаты, не претерпевшие распада твердого раствора. Третья группа наблюдений дает основание разделять явления на обычные и редкие. Упорядочение обычно сопровождается двойникованием, распад редко обособляет неупорядоченные фазы. Следующие наблюдения фиксируют возможность данного процесса в природе. Калиевые полевые шпаты могут кристаллизоваться в состояниях с различной степенью упорядоченности,

но склонны к метастабильной кристаллизации в неупорядоченной модификации. Упорядочение калиевых полевых шпатов происходит в природных условиях. Наконец, последняя группа наблюдений датирует возраст одного явления относительно другого: полисинтетическое двойникование, и, очевидно, распад происходят после кристаллизации, распад предшествует двойникованию, упорядочение сопровождается двойникованием, сегрегация пертитов сопровождается упорядочением.

Наиболее существенны два вывода:

1. Упорядочение сопровождается двойникованием, которое контролируется распадом; поэтому упорядочение происходит после распада (метастабильно).

2. Решетчатое двойникование происходит из состояния с моноклинной симметрией, т. е. из неупорядоченного состояния.

Все эти наблюдения приводят к следующим представлениям: распад, упорядочение и двойникование — три почти одновременно протекающих взаимосвязанных процесса, или три следствия одного процесса единовременной перестройки кристалла. Распад начинается несколько ранее упорядочения, сопровождающегося двойникованием. Калиево-натровые полевые шпаты кристаллизуются метастабильно в виде однородных неупорядоченных модификаций. Современный облик и строение их (кроме санидинов, сохранившихся вследствие закалки в лавах) обусловлены превращениями в твердом состоянии.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Белянкин Д. С. К минералогии кали-натровых полевых шпатов. Избр. труды. т. II. Изд-во АН СССР, 1958.
- Боуэн Н. Л. и Таттл О. Ф. Система $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{H}_2\text{O}$. В сб.: «Полевые шпаты», Изд-во иностр. лит-ры, 1952.
- Гольдсмит Ю. Р. и Лавес Ф. Соотношения устойчивости микроклина и санидина. В сб.: «Полевые шпаты», т. II. Изд-во иностр. лит-ры, 1956.
- Григорьев Д. П. О генезисе минералов.— Записки Всес. минер. об-ва, ч. 76, вып. 1, 1947.
- Егоров Н. И. и Марфуни А. С. Об аутигенной альбитизации доломитов Северного Кавказа.— Записки Всес. минер. об-ва, ч. 87, вып. 3, 1958.
- Коржинский Д. С. Закономерности ассоциации минералов в породах архея Восточной Сибири.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 61, 1945.
- Кумбс Д. С. Железистый ортоклаз с Мадагаскара. В сб.: «Полевые шпаты», т. II. Изд-во иностр. лит-ры, 1956.
- Лавес Ф. Решетка и двойникование микроклинов и других калиевых полевых шпатов. В сб.: «Полевые шпаты». Изд-во иностр. лит-ры, 1952.
- Лавес Ф. Фазовые отношения щелочных полевых шпатов. В сб.: «Полевые шпаты», т. II. Изд-во иностр. лит-ры, 1956.
- Марфуни А. С. Фазовая природа кали-натровых полевых шпатов.— Записки Всес. минер. об-ва, ч. 86, вып. 6, 1960.
- Марфуни А. С. Зависимость оптической ориентировки кали-натровых полевых шпатов от различных факторов.— Изв. АН СССР, серия геол., № 2, 1961.
- Марфуни А. С. и Рыкова С. В. 1. Об иррациональном двойниковании калишпатов. Докл. АН СССР, т. 134, № 1, 1960.
- Спенсер Э. Кали-натровые полевые шпаты. В сб.: «Полевые шпаты». Изд-во иностр. лит-ры, 1952.
- Таттл О. Ф. и Боуэн Н. Л. Высокотемпературный альбит и соседние полевые шпаты. В сб.: «Полевые шпаты». Изд-во иностр. лит-ры, 1952.
- Vaier E. Lamellenbau und Entmischungsstruktur der Feldspäte. Z. Kristallogr., 73, 1930.
- Vaskin I. A study of authigenic feldspars. J. Geol., 64, № 2, 1956.
- Buenger M. J. The genesis of twin crystals. Amer. Mineralogist, 30, № 7—8, 1945.
- Cahn R. W. Twinned crystals. Advances Phys., 3, № 12, 1949.
- Emmons R. C. a. Gates R. M. Plagioclase twinning. Bull. Geol. Soc. America, 54, № 3, 1943.
- Friedel G. Etude sur les groupements cristallins. Saint-Etienne, 1904.

- Goldsmith J. R. «Simplexity principle» and its relation to «ease» of crystallization. *J. Geol.*, 61, 1953.
- Hafner St. u. Laves F. Ordnung-Unordnung und Ultrarotabsorption. II. *Z. Kristallogr.*, 109, 3, 1957.
- Ito T. I. X-ray studies on polymorphism. Tokyo, Maruzen, 1950.
- Lacroix A. *Minéralogie de Madagascar*. Paris, 1922.
- Laves F. Artificial preparation of microcline. *J. Geol.*, 59, № 5, 1951.
- Laves F. Mechanische Zwillingsbildung in Feldspaten in Abhängigkeit von Ordnung-Unordnung der Si-Al Verteilung innerhalb des $(\text{Si, Al})_4\text{O}_8$ -Gerüstes. *Naturwissenschaften*, H. 23, 1952.
- Smith J. V. a. MacKenzie W. S. The alkali feldspars. V. The nature of orthoclase and microcline perthites and observations concerning the polymorphism of potassium feldspar. *Amer. Mineralogist*, 44 № 11—12, 1959.
- Taylor W. H., Darbyshire J. A. a. Strunz H. An X-ray investigation of the feldspars. *Z. Kristallogr.*, 87, 1934.