

А. И. ГИНЗБУРГ, М. Е. ЯКОВЛЕВА

О НЕКОТОРЫХ ЯВЛЕНИЯХ ПЕРЕОТЛОЖЕНИЯ
СПОДУМЕНА В ПЕГМАТИТАХ

В одном из районов наших работ были встречены пегматиты натро-литиевого типа (по А. Е. Ферсману), характеризующиеся рядом специфических особенностей, которыми они резко отличаются от большинства аналогичных образований, детально описанных в литературе.

Пегматиты представлены серией параллельных жил, залегающих в биотитовых сланцах и амфиболитах протерозоя. Мощность большинства пегматитовых тел около 1 м; значительно реже встречаются более мощные жилы. Все пегматиты необычайно сильно альбитизированы, причем никакой прямой связи между интенсивностью проявления процессов замещения и мощностью тел не существует. Встречаются нацело замещенные альбитизированные пегматиты с литиевой минерализацией мощностью не более 20—30 см. В то же время реликты первичных минералов чаще сохраняются в центральных частях самых мощных (до 4 м) жил, чем в маломощных.

Во многих пегматитах незаметна какая-либо зональность. Нет типичных аплитовых, графических и апографических зон. Однако о первичном строении пегматитовых тел судить трудно в связи с широким развитием процессов замещения, маскирующих детали первичного внутреннего строения. В мощных телах процессы дифференциации, несомненно, в какой-то степени происходили, так как в центральных частях их встречаются реликты крупных блоков микроклина (до 50 см в поперечнике). Но дифференциация не доходила до образования крупных мовоминеральных кварцевых обособлений между кристаллами микроклина. Кварцевые блоки содержат крупные обособления амблигонита (до 15—20 см в поперечнике), берилла (до 30 см) и, редко, сподумена (до 6 см).

Пегматитовые тела отличаются полосчатой текстурой, обусловленной наличием в них серии параллельных прожилков (мощностью от 0,5—1 до 30—50 см), проходящих примерно параллельно зальбандам и состоящих из кварц-мусковитового, кварц-сподуменового, кварц-лепидолитового и альбитового агрегата. Полосчатое строение тел особенно отчетливо выражено в призальбандовых мелкозернистых участках и в местах скопления кварца, но часто теряется в крупнозернистых участках, где встречаются крупные блоки микроклина.

Некоторые тела имеют строение «слоеного пирога» и состоят из серии чередующихся маломощных прожилков различного типа альбита и кварц-лепидолитового агрегата, между которыми в виде полос сохраняются участки сильно замещенного первичного пегматита. Прожилки кварц-муско-

витового агрегата развиваются обычно вблизи зальбандов жил. Полосчатое строение описываемых пегматитов свидетельствует о многократном приоткрывании трещин и беспокойной обстановке, существовавшей при их формировании.

Характерная особенность пегматитов состоит в появлении в них явно разновозрастных типов альбита, свидетельствующих о том, что процессы замещения протекали в несколько стадий. Разновозрастные типы альбита отличаются друг от друга по размеру зерен, их форме (изометрические, таблитчатые, длиннопластинчатые зерна, сахаровидный агрегат), по взаимной ориентировке (флюидальная, аплитовая, радиально-лучистая структуры), цвету (серый, голубой, желтоватый) и парагенетическим ассоциациям. Выделяется не менее четырех стадий альбитизации, каждая из которых представлена определенным типом альбита и сопутствующим ему комплексом аксессуарных минералов. В пегматитах широко распространены серый среднезернистый альбит двух типов: один ассоциирует с арсенопиритом и мелкозернистым синим и черным турмалином, другой — с полихромным турмалином, зеленым мусковитом, манган-апатитом, колумбит-танталитом. Агрегат серого альбита интенсивно замещает первичный пегматит и пересекается прожилками и «струями» резко выделяющегося по своему цвету голубого альбита (от сахаровидного до среднезернистого и клевеландита), с которым постоянно ассоциируется касситерит. Альбит, серый и голубой, в свою очередь, пересекается в различных направлениях тонкими альбит-микроклиновыми прожилками. Последние состоят из агрегата идиоморфных по отношению друг к другу таблитчатых кристаллов и иногда содержат касситерит.

Пегматитовые тела пересечены в различных направлениях сетью тонких (1—7 мм) флюоритовых и микроклин-альбит-флюоритовых прожилков, не выходящих обычно за пределы пегматитовых жил. Флюоритовые прожилки пересекают все минеральные ассоциации пегматитов.

В пегматитах наблюдаются две разновозрастные генерации сподумена.

Ранний сподумен I встречается совместно с альбит-олигоклазом № 15, микроклином, светло-коричневым биотитом, спессартином, черным турмалином и бериллом. Он образует сравнительно крупные кристаллы (длинной 2—3 см, реже до 6 см) светло-зеленого цвета, тесно ассоциирующиеся с биотитом, причем листочки биотита развиваются часто вдоль трещин спайности сподумена. Сподумен I встречается в пегматитах в незначительном количестве в отдельных участках жил и является скорее редкостью, нежели типичным минералом пегматитов. Кристаллы его не имеют какой-либо правильной ориентировки и беспорядочно расположены в агрегате альбит-олигоклаза и микроклина.

К уникальным явлениям, впервые наблюдающимся в подобного рода пегматитах, следует отнести наличие в пределах пегматитовых тел, даже в случае их небольшой мощности, относительно поздних прожилков и жил своеобразной кварц-сподуменовой породы, состоящей в основном из кварца и сподумена II. Мощность прожилков колеблется от нескольких сантиметров до 0,3—0,4 и даже до 0,5 м. Иногда в пределах одного пегматитового тела наблюдается несколько подобных прожилков, проходящих в мощных телах чаще всего по границам с крупными блоками микроклина. Ориентированы кварц-сподуменные прожилки примерно параллельно зальбандам пегматитовых тел, т. е. согласно с их полосчатостью. Цвет сподумена белый; размер отдельных зерен колеблется от сотых долей миллиметра до 2—3 см. В одних случаях прожилки полностью обладают криптокристаллическим роговиковоподобным или халцедоновидным строением, в других случаях криптокристаллическими являются перифериче-

ские участки, в центральных же частях размер кристаллов сподумена увеличивается, и отдельные зерна достигают 2—3 см, причем погруженные в более мелкозернистый агрегат они напоминают вкрапленники (рис. 1). Форма крупных зерен сподумена в одних разностях пластинчатая, а в других они образуют сильно удлиненные призмы.

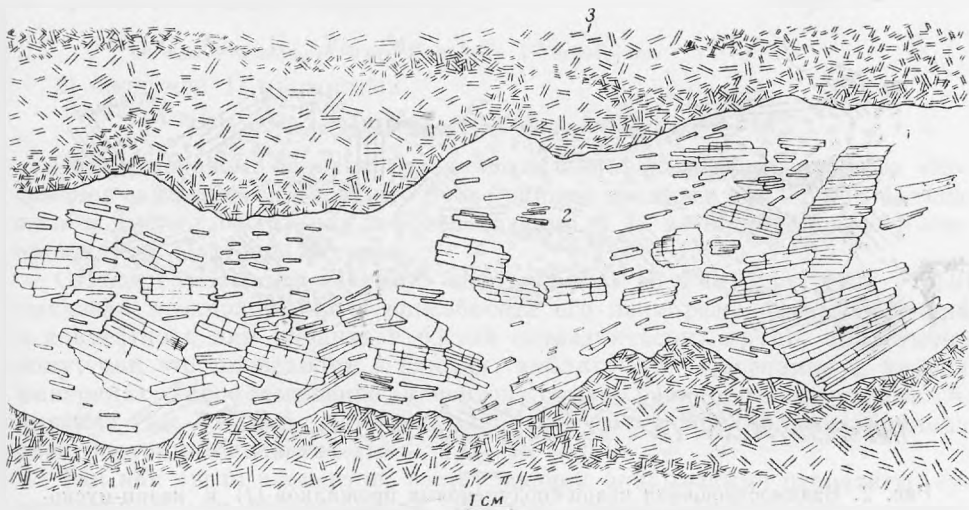


Рис. 1. Крупный сподумен (1) в кристокристаллической кварц-сподуменовой массе (2); 3 — кварц-мусковитовый агрегат

Характерная особенность этой породы — ориентированное расположение кристаллов сподумена. Последние вытянуты в подавляющем большинстве случаев параллельно зальбандам прожилков, а не перпендикулярно к ним, как в главнейших сподуменных месторождениях мира (Гинзбург, 1950). Эта вытянутость, при незначительном размере кристаллов сподумена, обуславливает волокнистость и характерную флюидальную структуру прожилков, особенно резко выраженную при наличии крупных зерен сподумена. Кварц-сподуменные прожилки в случае их весьма мелкозернистого строения трудно по первому взгляду отличить от альбитовых, однако для них характерны большой удельный вес, вязкость и занозистая поверхность излома. Кварц-сподуменные прожилки отчетливо пересекают первичный кварц-микрклиновый пегматит и слабо альбитизированный кварц-мусковитовый агрегат (рис. 2), по в свою очередь пересекаются прожилками серого средне-пластинчатого альбита и, особенно часто, прожилками голубого клегеландита.

Оптические свойства и химический состав раннего сподумена I из альбит-олигоклаз-микрклинового агрегата и сподумена II из кварц-сподуменных прожилков приведены в табл. 1 и 2.

Обращает внимание высокое содержание в анализах (табл. 2) суммы щелочей (8,95—9,92%), тогда как по литературным данным наибольшее количество щелочей в химических анализах сподумена равно 7,90% (Гинзбург, 1959). Однако щелочи в исследуемых нами сподуменах анализировались в двух химических лабораториях, и разница в их сумме по данным двух анализов составляет 0,5%. Это дает основание считать, что приведенные данные суммы щелочей если и завышены, то не более чем на 0,5%.

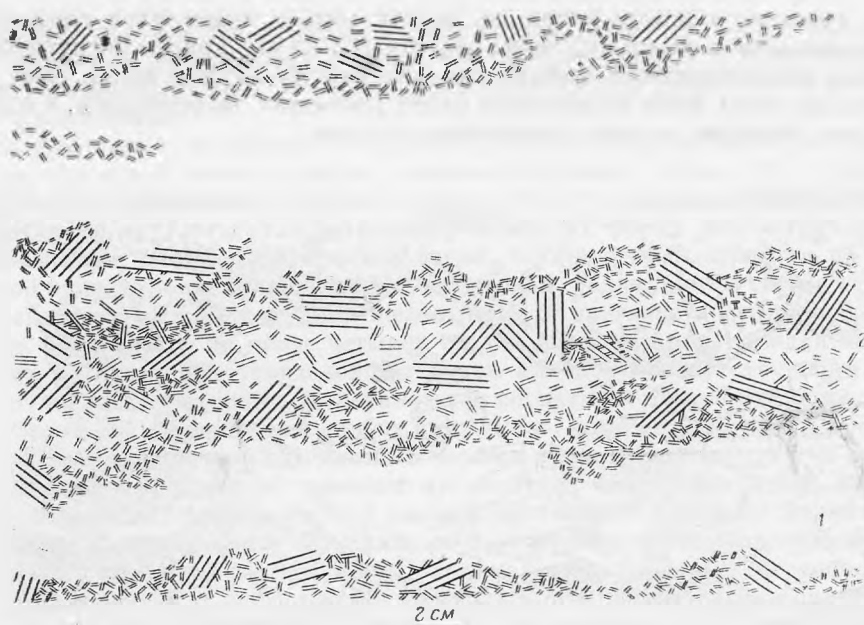


Рис. 2. Взаимоотношения кварц-сподуменовых прожилков (1) и кварц-мусковитового замещающего комплекса (2)

Таблица 1

Оптические свойства сподумена

	Ng	Nm	Np	(+)2V	eNg	Ng-Np	Двойники
Светло-зеленый сподумен I	1,673	1,655	1,648	65°	26°	0,025	Полисинтетические по (100), часто
Сподумен II прожилков:							
крупные зерна	1,670	1,659	1,654	65°	26°	0,016	Простые и иногда полисинтетические по (100), реже
мелкие зерна	1,670	1,659	1,654	65°	26°	0,016	Простые по (100), редко

Таблица 2

Химический состав сподумена

(химические анализы произведены в НИИстройкерамики аналитиком М. Н. Рыбинской, щелочи определены в ВИМС)

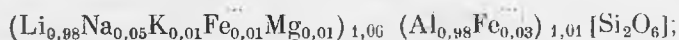
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Li ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.	H ₂ O	Сумма
Светло-зеленый сподумен I	63,11	26,29	1,36	0,43	0,14	0,21	0,09	7,80	0,89	0,26	0,36	0,16	101,10
Сподумен II прожилков	62,79	26,84	0,32	0,14	Сл.	0,21	0,19	6,80	2,08	1,04	0,64	0,16	101,21

По данным спектрального анализа в светло-зеленом сподумене I присутствуют: Ti (0,1—0,3%), Ga (0,04—0,06%), Sn (0,01—0,03%), Cu (0,001%).

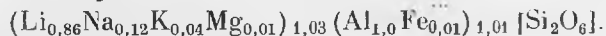
Ge ($\sim 0,001\%$), Be ($\sim 0,0003\%$), а в сподумене II прожилков: Sn (0,01—0,03%), Ga (0,004—0,006%) и Ti (0,001—0,003%).

Пересчеты химических анализов на кристаллохимические формулы (если принять, что атомное количество кислорода равно 6) дали следующие результаты:

1) светло-зеленый сподумен I



2) сподумен II прожилков



Таким образом, основное различие в составах анализируемых сподуменов заключается в том, что более ранний сподумен I содержит больше железа, титана и марганца, а более поздний (т. е. из кварц-сподуменовых прожилков) обогащен натрием.

Относительно роли натрия в сподумене А. И. Гинзбург (1953, 1959) высказал предположение о способности его изоморфно замещать литий и совместно с ним входить в состав октаэдрических групп, аналогично тому, как это происходит в слюдах, амблигоните, трифиллине и других минералах. Такое замещение элементов с сильно различающимися ионными радиусами ($\text{Li} - 0,68 \text{ \AA}$, $\text{Na} - 0,97 \text{ \AA}$) может быть основано на их близких электроотрицательностях ($\text{Li} - 1,0$, $\text{Na} - 0,9$).

Так как среди элементов, составляющих описываемые пегматиты, существенную роль играет натрий, вероятно, что он в значительном количестве присутствовал в составе тех порций расплава-раствора, из которых кристаллизовались кварц-сподуменовые прожилки, и где существовали наиболее благоприятные условия для замещения лития натрием.

Что касается оптических свойств, то более ранний сподумен имеет значительно большую силу двойного лучепреломления (это может быть объяснено высоким содержанием железа), и в нем хорошо развиты полисинтетические двойники по 100. Крупный и мелкий сподумены кварц-сподуменовых прожилков имеют одни и те же оптические свойства, причем двойникование в крупных зернах встречается реже, чем в сподумене I, и преобладают простые двойники над полисинтетическими, тогда как в мелких зернах двойники очень редки и только простые.

Микроскопическое изучение кварцево-сподуменовых прожилков показало, что их слагают главным образом сподумен и кварц, выполняющий промежутки между зернами сподумена. Кроме того, присутствуют: альбит (в незначительном количестве), микроклин (редкие зерна) и мусковит (единичные чешуйки).

Содержание кварца в кварц-сподуменовых прожилках определялось термографическим методом (в лаборатории ИГЕМ АН СССР), разработанным А. И. Цветковым (1952). Сущность этого метода состоит в том, что полиморфные превращения кварца ($\alpha \rightleftharpoons \beta$) при 575° вполне отчетливо записываются на кривых нагревания и охлаждения. Абсолютное количество тепла, выделенного или поглощенного в процессе $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -превращения, пропорционально содержанию кварца и, следовательно, пропорционально площади пика на термограмме, отвечающей данной реакции. Для определения содержания кварца в исследуемой пробе площадь пика на ее термограмме должна быть отнесена к площади пика чистого кварца. Данный метод отличается быстротой и значительно большей возможностью усреднения материала.

При определении содержания кварца описанным методом в пяти различных прожилках установлено, что количество его колеблется от 57 до

65%. Термограмма кварц-сподуменового агрегата приведена на рис. 3, где эндотермическая остановка при 575° отвечает $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -превращению кварца, а при 970° с максимумом при 1120° отвечает $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -превращению сподумена.

Сподумен в прожилках образует мелкозернистый агрегат, величина индивидов в котором колеблется в основном от 0,04 до 0,6 мм по длинной

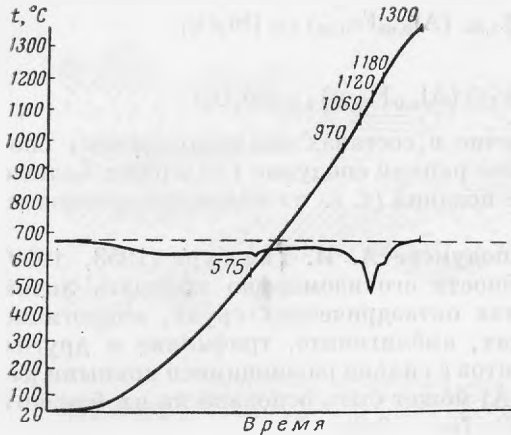


Рис. 3. Термограмма кварц-сподуменового агрегата (обр. 56—145)

оси. Среди этого мелкозернистого агрегата появляются и более крупные зерна — длиной 3—8 мм и, редко, до 3 см. Иногда сподумен по величине зерен резко делится на две группы (рис. 6 и 8), в других случаях наблюдаются зерна и промежуточных размеров (рис. 4). При просмотре шлифов отчетливо видно, что более крупные зерна сподумена сильно раздроблены и разъедены агрегатом зерен кварца. Вследствие этого от крупных кристаллов сподумена отслаиваются мелкие зерна (рис. 4—7).

На рис. 4 отчетливо видно, что кварц проникает в более крупные зерна сподумена по

трещинам дробления и спайности. В конечном итоге получается структура, напоминающая петельчатую, в которой останцы причудливых очертаний, сохраняющие единую оптическую ориентировку, связаны друг с другом узкими перемычками. В результате один крупный кристалл сподумена оказывается расчлененным на большое количество мелких зерен, имеющих примерно одну и ту же ориентировку, причем на зернах часто сохраняются поперечные трещины дробления (рис. 5).

На рис. 6 показаны сильно удлинённые кристаллы крупного сподумена, раздробленные и в значительной степени разъеденные кварцем с образованием фиордообразных углублений; за счет крупных кристаллов образуется агрегат более мелких зерен, часто в целом еще сохраняющий вытянутую форму первоначального крупного зерна. Эта же картина дробления и разъедания хорошо видна и на рис. 7, где показано, как крупное зерно переходит по периферии в агрегат мелких зерен. В тех случаях, когда процесс дробления и растворения крупных зерен сподумена сопровождался более интенсивными подвижками, происходило обособление мелких зерен с образованием из них потоков, огибающих сохранившиеся крупные зерна (рис. 8). Когда процесс дробления и резорбции крупного сподумена проходил до конца, образовывался мелкозернистый кварц-сподуменый агрегат, в котором мелкие неправильной формы зерна сподумена постепенно (в результате их дорастания) приобретали изометрические очертания. В конечном итоге вся порода приобрела характерную торцовую структуру (рис. 9), типичную для многих метаморфических пород типа роговиков. Макроскопически в таких кварц-сподуменных прожилках отдельные зерна сподумена неразличимы, и вся порода в целом приобретает роговиковый облик.

Таким образом, вследствие дробления крупных кристаллов сподумена и разъедания их кварцем отдельные крупные кристаллы расчленяются

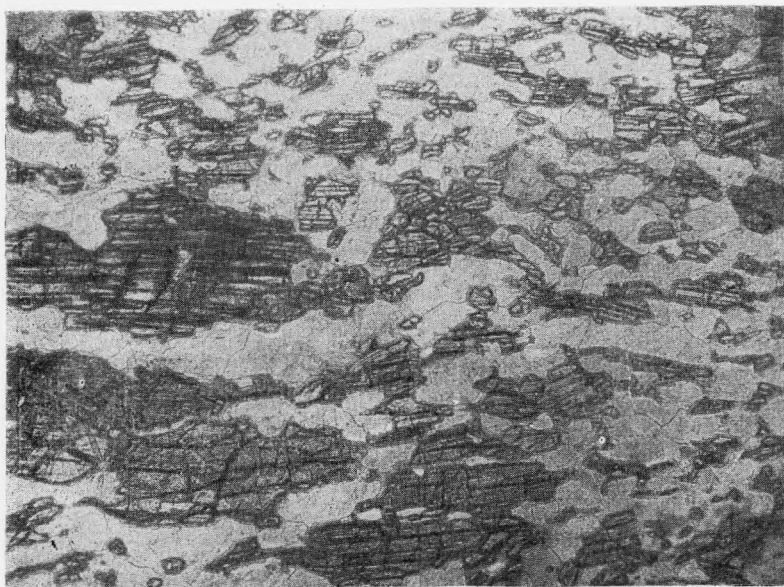


Рис. 4. Характер разъедания сподумена кварцем
Один николь. $\times 20$

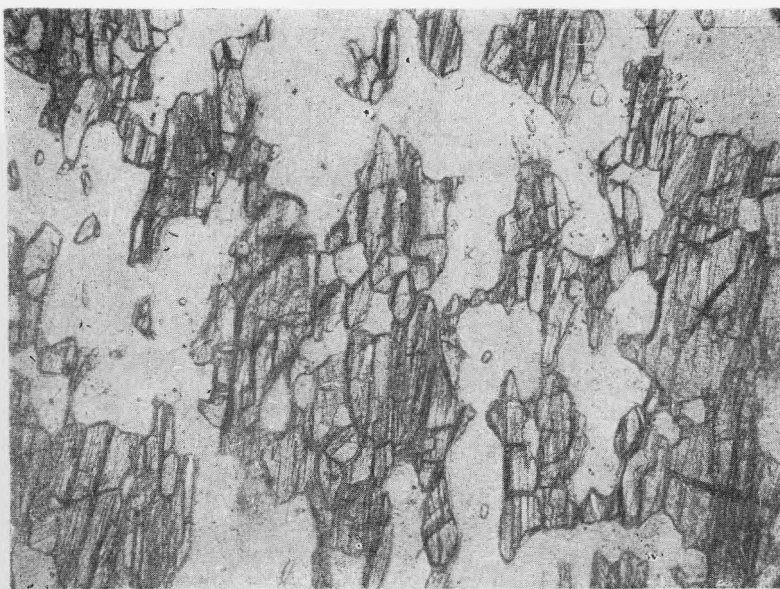


Рис. 5. Дробление сподумена и разъедание его кварцем
Один николь. $\times 46$

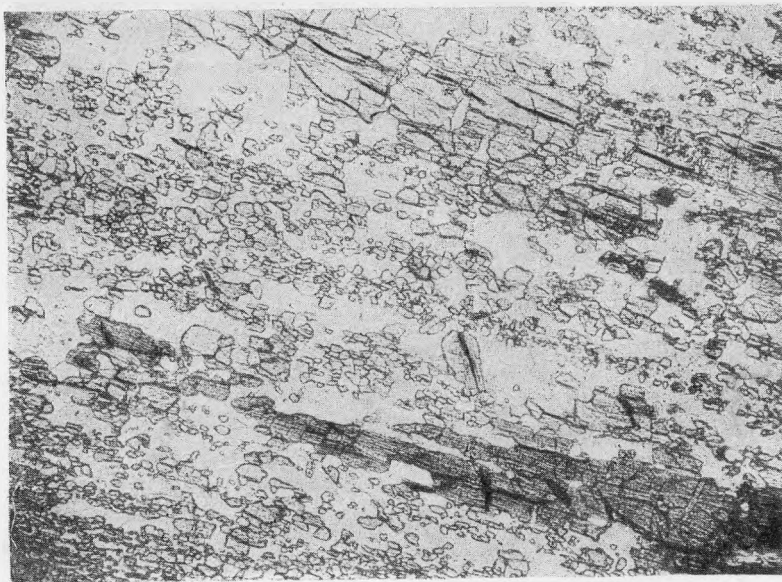


Рис. 6. Дробление и разъедание крупных зерен сподумена
с образованием мелкозернистого агрегата
Один николь. $\times 20$

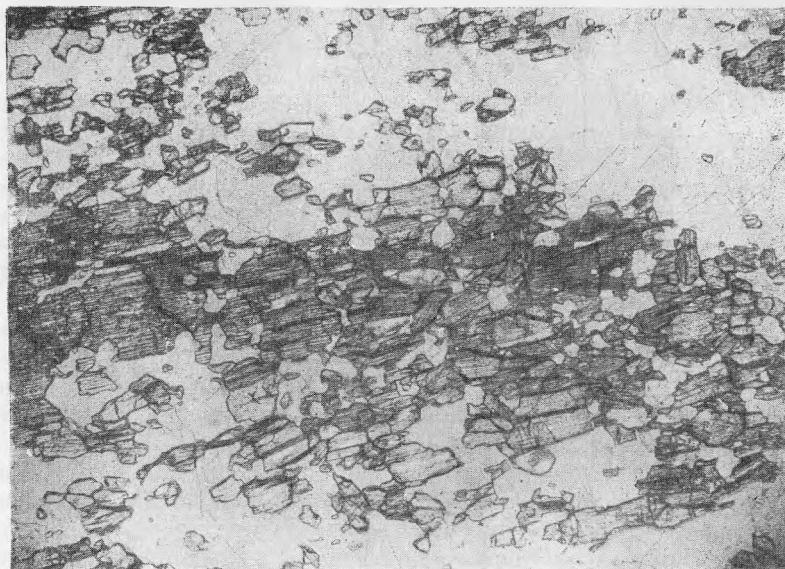


Рис. 7. Дробление и разъедание крупного зерна сподумена
с образованием по периферии его мелкозернистого агрегата
Один николь. $\times 20$

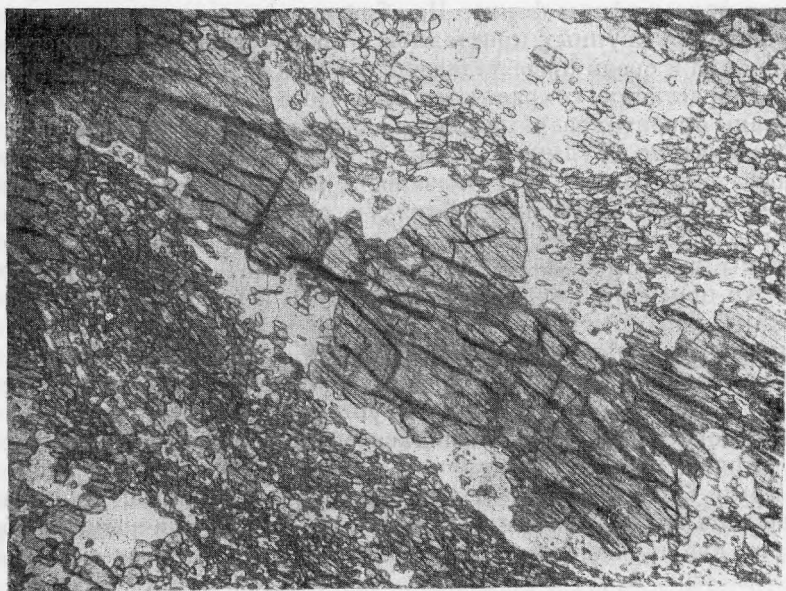


Рис. 8. Обособление мелких зерен сподумена и образование из них потоков вокруг сохранившегося крупного зерна
Один николь. $\times 20$

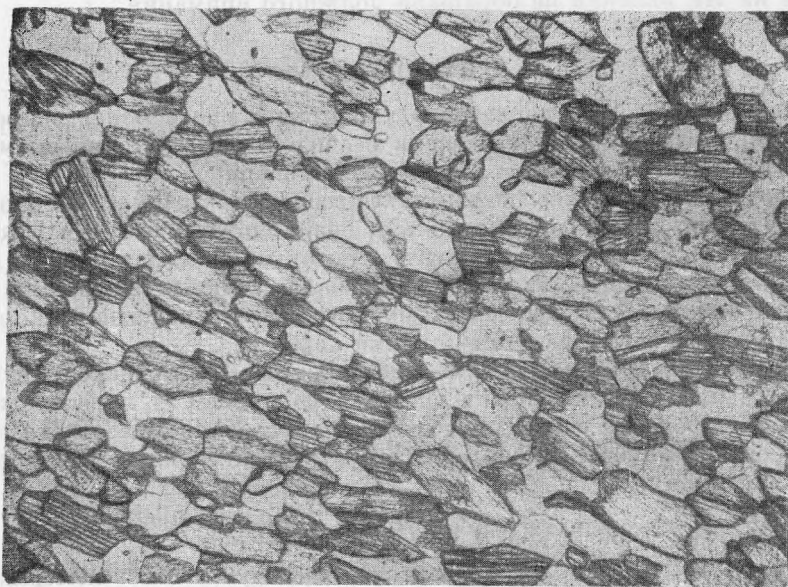


Рис. 9. Торцовая структура кварц-сподуменного агрегата
Один николь. $\times 46$

на мелкие зерна неправильной формы, которые в дальнейшем дорастают, приобретая идиоморфную форму. Из образцов, в которых процесс частичного растворения крупных кристаллов и последующего их дорастания не дошел до конца и среди преобладающих мелких зерен сподумена, уже подвергшихся дорастанию, сохраняются отдельные зерна крупного сподумена, были сделаны ориентированные шлифы и была измерена ориентировка оптических индикатрис крупных и мелких зерен относительно флюидалности или полосчатости самих жил. Оказалось, что подавляющее большинство крупных и мелких зерен имеет близкую ориентировку, причем оси Ng и Nm располагаются приблизительно в плоскости полосчатости; оси Ng параллельны простиранию полосчатости, а Nm — перпендикулярны к ней. Оси Np ориентируются перпендикулярно к плоскости полосчатости.

Тот факт, что оптическая ориентировка и крупных и мелких зерен сподумена почти одна и та же, подтверждает еще раз, что мелкие зерна образовались за счет крупных. Это дает основание предположить, что весь процесс (т. е. дробление первичных крупных зерен, их растворение и последующее дорастание образовавшихся мелких зерен) протекал, скорее всего, в твердой среде, благодаря чему мелкие зерна, отчлененные от крупных, не могли существенно изменить своей ориентировки и, по-видимому, не подверглись передвижениям. При нанесении аналогичным же образом индикатрис кварца оказалось, что единство ориентировки в них отсутствует.

Подобные процессы образования мелких зерен сподумена вследствие раздробления и растворения более крупных кристаллов и последующего «переотложения» растворенного вещества, т. е. дорастания мелких обломков и реликтов крупных кристаллов, распространены в сподуменовых пегматитах, по-видимому, достаточно широко, только до последнего времени на эти явления не обращали должного внимания.

ВЫВОДЫ

1. Для описываемых пегматитов характерна многофазность процесса образования, что объясняется весьма беспокойными тектоническими условиями, в течение всего периода их формирования.

2. Сподумен в данных пегматитах представлен двумя генерациями: 1) сравнительно редко встречающимся, более богатым железом сподуменом I, кристаллизующимся до биотита, с которым он ассоциирует, и 2) широко распространенным сподуменом II, более богатым щелочами, образующим прожилки, секущие кварц-мусковитовый замещающий комплекс и в свою очередь секущиеся прожилками альбита.

3. После формирования прожилков сподумена II происходили тектонические движения, сопровождавшиеся дроблением и переотложением сподумена в пределах самих прожилков с образованием плотного кварц-сподуменового халцедоновидного агрегата с характерными метаморфическими структурами.

ЛИТЕРАТУРА

- Гинзбург А. И. О некоторых особенностях сподуменовых месторождений. Разведка недр. № 1, 1950.
 Гинзбург А. И. и Берхен С. И. О составе и химической конституции литиевых слюд. Труды Минер. музея АН СССР, вып. 5, 1953.
 Гинзбург А. И. Сподумен и процессы его изменения. Труды Минер. музея АН СССР, вып. 9, 1959.
 Цветков А. И. О количественном определении кварца в горных породах методом термического анализа. Докл. АН СССР, т. XXXVII, № 1, стр. 123—125, 1952.