

А. И. ГИНЗБУРГ

**ПЕТАЛИТ В ПЕГМАТИТАХ КАЛБИНСКОГО ХРЕБТА  
И ПРОЦЕССЫ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ**

Петалит — редкий алюмосиликат лития  $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ . Впервые он был обнаружен на территории Советского Союза в конце прошлого века И. В. Мушкетовым в валунах ледника Аманауз на Северном Кавказе. Химический анализ этого минерала приведен П. В. Еремеевым [3] в протоколах заседания Минералогического общества за 1896 г. Однако до настоящего времени точное местонахождение петалита на Северном Кавказе неизвестно. В 1911 г. петалит был обнаружен в значительных количествах В. И. Крыжановским [4] в Липовке на Среднем Урале. Этим исчерпывается все, что до последнего времени известно о месторождениях петалита в пределах Советского Союза.

В 1940—1941 гг. петалит в виде мельчайших выделений был обнаружен под микроскопом в пегматитах Калбинского хребта, сперва на В. Бай-Мурзинском месторождении (А. И. Гинзбург), а затем в пегматитах Асу-Булака (М. Ф. Стрелкин, И. В. Дуброва). Однако он встречался здесь в таком незначительном количестве, что справедливо считался большой редкостью.

При осмотре в 1945 г. вновь открытых месторождений Калбинского хребта петалит был нами обнаружен в виде больших кристаллов размером свыше 1 м. Выделения петалита большей частью были сильно изменены и превращены в мелкозернистый агрегат различных минералов.

Поскольку в мировой литературе процессы изменения петалита почти не описаны, нами уделено этому вопросу наибольшее внимание.

Петалитовые месторождения представлены серией параллельных линзообразных жил или жил с небольшими раздувами, залегающими в биотитовых порфиридных гранитах варисийского возраста. Граниты сильно обогащены биотитом и содержат большое количество как мелких, так и больших ксенолитов измененных вмещающих пород — песчаников и сланцев такырской свиты ( $D_2 - C_1$ ).

Петалит в этих месторождениях встречается в осевых частях жил. в местах раздувов, совместно с другими литиевыми минералами, в частности, совместно с амблигонитом, лепидолитом, поллуцитом.

Следует отметить, что в жилах, содержащих крупные кристаллы петалита, никогда не встречаются крупные кристаллы сподумена и, наоборот, в месторождениях, содержащих сподумен, петалит является редкостью. Эта закономерность наблюдается не только на месторождениях Калбинского хребта, но и подтверждается почти на всех других месторождениях мира.

Исключением из этой общей закономерности являются месторождения Швеции (Утё и Варутреск), где сподумен и петалит встречаются совместно, но обычно один из них резко преобладает; в других же случаях в различных участках одного и того же месторождения развиты то сподумен, то петалит. Вообще нужно заметить, что петалит встречается значительно реже сподумена, и появление его является редкостью.

Петалит описываемых месторождений обычно встречается в виде сильно удлинённых по (010) и (120), плохо образованных кристаллов.

В отдельных случаях они имеют клиновидную форму. Несмотря на то, что они плохо образованы, в них все же различимы отдельные грани (рис. 1): *c* (001), *g* (120), *m* (110), *o* (201).

Углы между гранями были измерены прикладным гониометром, но поскольку кристаллы петалита несовершенны, полученные при измерении углы не всегда сходятся с теоретическими.

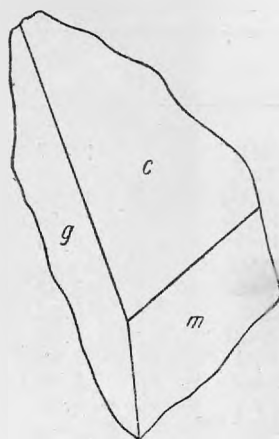


Рис. 1. Кристалл петалита.

Измерено По Ш. Гинце

$g : c = (120) \wedge (001)$	81°	80°41'
$m : c = (110) \wedge (001)$	72°	74°52'
$o : c = (201) \wedge (001)$	33°	33°37'

Свежий, неизмененный петалит полупрозрачен и имеет стеклянный блеск. Цвет его обычно серый, реже желтоватый, темносерый или белый. Твердость 6—7. Спайность совершенная по (001) и ясная по (201). Петалит по внешнему виду можно принять за полевой шпат, кварц и амблигонит. От полевого шпата он отличается наличием только одной совершенной спайности, а также своим цветом. К-полевой шпат в пегматитах данного типа обычно желтый, кремовый или светлорозовый, в то время как петалит — серый. От кварца петалит отличается наличием совершенной спайности, а от амблигонита — по удельному весу (удельный вес амблигонита — 3,1, петалита — 2,5).

Под микроскопом петалит весьма напоминает К-полевой шпат и отличается от него наличием только одной системы трещин спайности, по которой он погасает почти прямо, несколько меньшим показателем преломления и своим оптическим знаком.

Знак главной зоны петалита — положительный. Угол погасания  $Ng : C = 4 - 5^\circ$ .

Помимо хорошо выраженной системы трещин спайности по *c* (001) под микроскопом в петалите наблюдаются еще следующие системы трещин отдельности:

1) трещины отдельности по *o* (021) развиты очень хорошо, угол между трещинами спайности и трещинами отдельности равен 54°;

2) трещины отдельности по *m* (110) наблюдаются значительно реже, угол между ними и трещинами спайности равен 75°.

Оптический знак петалита положительный,  $2V$  — очень большой. Показатели преломления, измеренные в иммерсионных жидкостях, оказались равными:  $Ng = 1.516 \pm 0.001$ ;  $Nm = 1.511 \pm 0.002$ ;  $Np = 1.505 \pm 0.001$ ;  $Ng - Np = 0.011$ .

Под микроскопом видно, что зерна петалита сильно катаклазированы и развиты на отдельные полосы, часто неодновременно погасающие.

Химический анализ петалита, произведенный кандидатом геолого-минералогических наук А. И. Пономаревым, показан в табл. 1, где для сравнения помещен анализ петалита с Сев. Кавказа.

Содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  в петалите вообще колеблется от 1.00 до 4.4% и всегда ниже теоретического 4.9%. В петалите  $\text{Li}_2\text{O}$  замещается до некоторой степени  $\text{Na}_2\text{O}$ , а в анализе

Таблица 1

Химические анализы петалита

	I	II
$\text{SiO}_2$	75.87	77.28
$\text{TiO}_2$	0.00	—
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16.96	14.82
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.34	—
$\text{FeO}$	0.13	1.08
$\text{MnO}$	Следы	Следы
$\text{MgO}$	0.03	—
$\text{CaO}$	0.49	0.58
$\text{Na}_2\text{O}$	1.96	2.07
$\text{K}_2\text{O}$	0.68	
$\text{Li}_2\text{O}$	3.38	1.97
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.03	—
$\text{H}_2\text{O}^{-110^\circ}$	0.56	0.45
$\text{H}_2\text{O}^{+110^\circ}$		
Сумма	100.43	98.25

I. Калбинский хребет. 1946.

II. Сев. Кавказ. Ледник Аманауз. 1896.

Петалит точно так же, как и сподумен, очень легко изменяется и переходит в различные другие минералы. Процессы изменения петалита развиты настолько широко, что совершенно неизменные образцы петалита можно встретить очень редко.

Произведенное микроскопическое изучение различных измененных петалитов позволило установить следующие процессы его изменения.

I. «Альбитизация» петалита. На отдельных месторождениях часто встречаются своеобразные разновидности непрозрачного, белого, как бы мелоподобного петалита, отличающиеся от обычного петалита своим белым цветом, непрозрачностью и менее развитой спайностью. Переходы от нормального петалита к таким его разновидностям постепенные. Под микроскопом подобные белые разновидности оказались состоящими из петалита, интенсивно замещаемого зернами альбита, и представляющими собой как бы псевдоморфозы альбита по петалиту. Однако альбит, образующийся по петалиту, отличается характерной особенностью — он содержит большое количество мельчайших включений кварца, имеющих форму типичных мирмекитов.

Эти мирмекитоподобные включения кварца располагаются незаконмерно и не имеют единой оптической ориентировки. Размер и количество их постепенно изменяются по мере перехода от петалита к альбиту. На границе между ними, вблизи самого петалита, количество включений кварца весьма большое, но включения эти настолько незначительны по размеру, что видны под микроскопом только при самом большом увеличении. При обычном же увеличении, порядка 80—100 раз, отдельные включения кварца в альбите незаметны, но благодаря множеству их альбит приобретает своеобразную «шагреневую» поверхность. По мере удаления от петалита количество включений резко уменьшается, но пропорционально этому увеличиваются их размеры. В центральной части зерен альбита обычно находятся уже крупные, неправильные выделения кварца (см. рис. 2).

Анализ нашего петалита, при предположении, что  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  замещают  $\text{Li}_2\text{O}$ , почти точно укладывается в соотношение:  $\text{Li}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 1 : 1 : 8$ , что отвечает нормальной формуле петалита:



Процесс альбитизации петалита можно представить себе в виде следующей схемы (рис. 3).

1. Петалит.

2. Альбит с «шагреновой» поверхностью. Под большим увеличением видны мельчайшие точечные включения кварца.

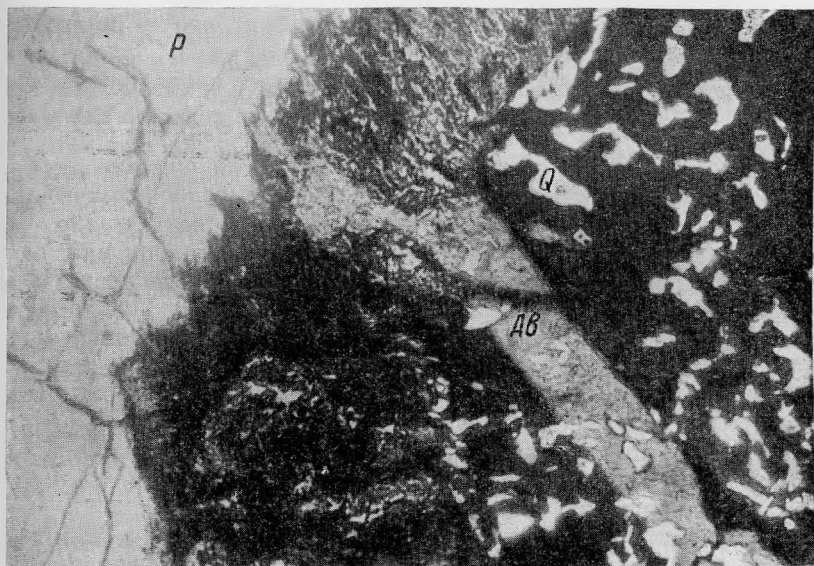


Рис. 2. «Альбитизированный петалит». Включения кварца (Q) в альбите (Ab) на границе его с петалитом (P). Никколи скреплены. Ув. 76.

3. Альбит с густой вкрапленностью мелких мирмекитоподобных включений кварца. Последние чаще всего ориентированы перпендикулярно границе с петалитом.

4. Альбит с большими редкими включениями кварца. Последние иногда приурочены к трещинам спайности.

Следует отметить, что граница между описанными зонами обычно бывает резкой (рис. 2).

Очень часто альбит выделяется в петалите по трещинам спайности, однако и в этом случае среди альбита появляются мирмекитоподобные включения кварца.

Образование включений кварца в альбите при замещении им петалита объясняется легко, поскольку петалит содержит избыточное количество  $\text{SiO}_2$  по сравнению с альбитом. Этот своеобразный процесс альбитизации петалита можно схематически изобразить в следующем виде:

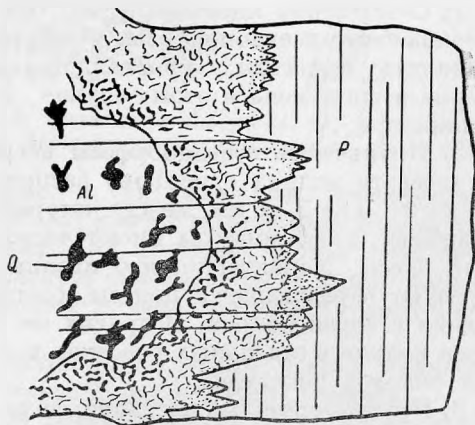
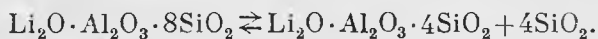


Рис. 3. Схема альбитизации петалита.

II. Распад петалита на сподумен и кварц. На некоторых месторождениях Калбинского хребта часто встречаются свои образные псевдоморфозы по петалиту, состоящие из мелкозернистого агрегата кварца и игольчатого минерала. В этом агрегате все зерна игольчатого минерала обычно имеют одну общую ориентировку: они располагаются перпендикулярно к удлинению кристалла петалита. Микроскопическое исследование позволило установить, что этим игольчатым минералом являются мелкие пластинки сподумена. Таким образом петалит переходит в сподумен и кварц, т. е. имеет место процесс распада



Эта реакция является обратимой, так как нами описано и обратное явление — петализация сподумена. Характерной особенностью наблюдаемого процесса распада петалита является то обстоятельство, что никаких переходных форм от петалита к сподумену и кварцу наблюдать не удается. Среди агрегата кварца и сподумена никогда не встречаются какие-либо остатки, реликты ранее бывшего петалита. Либо кристаллы петалита совершенно не затронуты этим изменением, либо же они целиком превращены в тонкозернистый агрегат сподумена и кварца. Очевидно, что процесс распада петалита, протекающий при определенных условиях, всегда протекает нацело, до конца.

Образующийся по петалиту агрегат мелких зерен кварца и иголок сподумена различается как по размерам самих кристаллов кварца и сподумена, так и по текстуре и структуре.

Размер зерен кварца и сподумена в образующемся по петалиту агрегате обычно широко варьирует. Пластинки сподумена изменяют свою величину от десятых долей миллиметра и до нескольких сантиметров. По размерам выделений сподумена и кварца можно различать три типа псевдоморфоз:

1) Совершенно плотные белые, однородные по внешнему виду, кварцитоподобные псевдоморфозы, в которых невооруженным глазом нельзя различить отдельных кристаллических индивидуумов. Размер зерен кварца и сподумена в этом случае достигает десятых и сотых долей миллиметра.

2) Игольчатые псевдоморфозы встречаются наиболее часто и состоят из агрегата мелких одинаково расположенных иголок сподумена размером от 2—3 до 5—6 мм, между которыми находятся мелкие зерна кварца. Подобные псевдоморфозы имеют часто волокнистое строение и шелковистый блеск. Характерно, что иголки сподумена и зерна кварца часто образуют чередующиеся полосы, состоящие почти из одних иголок сподумена и зерен кварца. В других же случаях наблюдаются обособление зерен кварца в отдельных участках и образование характерной пятнистой или очковой текстуры.

3) Крупнозернистые псевдоморфозы, состоящие из крупных пластинок сподумена длиной до 1—2 см и кварца. Как правило, в таких крупнозернистых агрегатах единая ориентировка лейст сподумена теряется. Точно так же в этом случае часто нарушается первоначальная форма кристалла петалита, т. е. мы здесь уже не имеем дела с нормальной типичной псевдоморфозой, и происхождение этих кристаллов сподумена из петалита не всегда легко устанавливается.

Между выделенными тремя типами псевдоморфоз, конечно, наблюдаются все переходы, при этом переходы постепенные. Следует отметить, что лейсты сподумена усиленно разъедаются кварцем. С другой стороны, не все выделения сподумена образовались одновременно, так как одни идю-

морфы друг к другу, другие же разрезают более ранние выделения или заполняют промежутки между ними. Структура образующегося кварц-сподуменого агрегата весьма характерна (рис. 4).

Значительно реже кварц и сподумен образуют характерную «торцевую» структуру, свидетельствующую об одновременном их образовании. В отдельных случаях наблюдаются выделения сподумена как бы двух генераций; более ранние образуют совместно с кварцем крупные кристаллы, которые сцементированы мелкозернистым сахаровидным кварц-сподуменным агрегатом.

В осевых частях зерен сподумена часто появляется большое количество мелких, совершенно неправильных включений кварца весьма своеобразной формы; они иногда вытянуты, иногда имеют червеобразную форму с сильно зазубренными краями, благодаря чему они не похожи на выше описанные мirmekитоподобные включения кварца в альбите<sup>1</sup> (рис. 5). Вокруг этих мелких зазубренных включений иногда появляются более крупные выделения кварца. Эти включения часто сосредотачиваются в центре зерен сподумена (рис. 6, I), реже они распределены неравномерно по сподумену (рис. 6, II) или же вытягиваются полосами (рис. 6, III). В отдельных случаях они придают зернам сподумена зонарную структуру (рис. 6, IV). Следует отметить, что в месте нахождения этих включений кварца двойное лучепреломление у сподумена несколько понижено.

Появление в сподумене таких мелких включений кварца является весьма характерной особенностью кварц-сподуменного агрегата.

Термическое изучение игольчатой псевдоморфозы по петалиту показало ту же эндотермическую остановку при температуре 1000°, которая характерна для сподумена (рис. 7), сам же петалит, как это видно из кривой нагревания, никаких остановок не дает.

Из всего сказанного выше следует, что процесс распада петалита на сподумен и кварц есть процесс весьма сложный и длительный, но всегда доходящий до конца, что при этом, возможно, образуются промежуточные

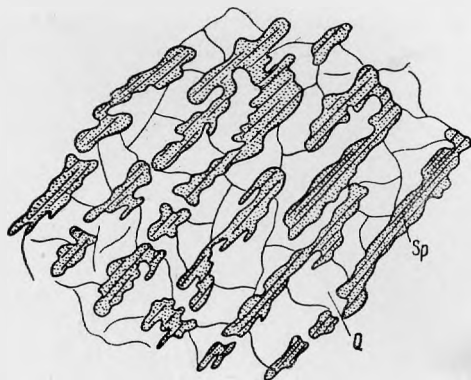


Рис. 4. Структура кварц-сподуменного агрегата.

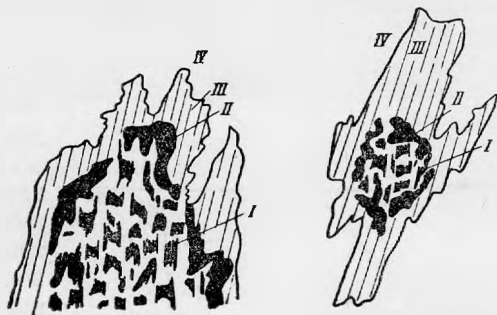


Рис. 5. Включения кварца (I, II) в сподумене (III). Зерна сподумена находятся в кварце (IV).

<sup>1</sup> В период подготовки данной работы к печати вышла статья П. Квенселя [12], в которой он описывает совершенно аналогичные включения кварца в сподумене в образцах из пегматитов Варутреска. П. Квенсель называет подобную структуру с и м п л е к т и т о в о й.

весьма неустойчивые соединения (хотя бы типа литиевого полевого шпата —  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ), которые в свою очередь распадаются на кварц и сподумен. Этим, возможно, можно объяснить появление внутри самого сподумена мелких включений кварца, а также появление нескольких разновидностей кварца. Возникает предположение, не имеет ли здесь место следующий процесс:

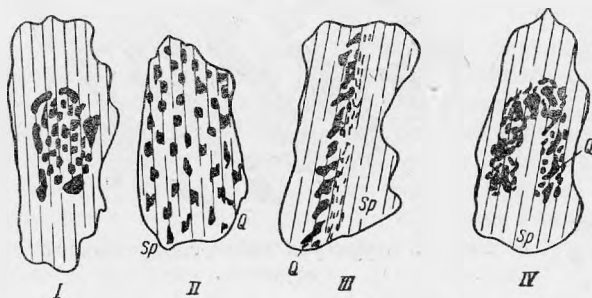
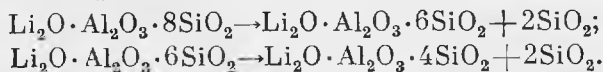


Рис. 6. Различные типы включений кварца в сподумене.

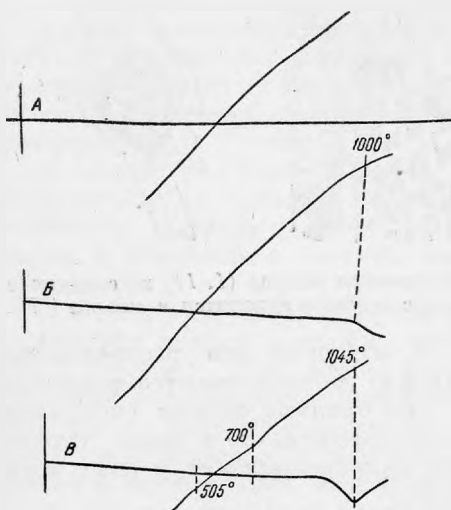


Рис. 7. Дифференциальные кривые нагревания.

А — петалит; Б — кварц-сподуменовый агрегат по петалиту; В — сподумен.

ко тем, что сподумен образовался после альбитизации.

Что же касается самого распада петалита на сподумен и кварц, то очевидно, петалит является весьма неустойчивым минералом и может существовать в очень ограниченном температурном интервале. Надо отметить, что согласно исследованиям Р. Хетча системы  $\text{Li}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  [6] петалит не образуется непосредственно из расплава при температуре выше  $950^\circ$ . Этим, быть может, объясняется тот факт, что петалит и сподумен не встречаются совместно в промышленных количествах.

Наиболее интересными являются вопросы о причине распада петалита на сподумен и кварц и о времени протекания этого процесса. Имеющийся фактический материал не позволяет однозначно решить первый вопрос и дает некоторые основания к решению второго. Распад петалита на сподумен и кварц про-

исходит после процесса альбитизации. За это говорят следующие данные.

1) Среди кварц-сподуменовой агрегата часто встречаются выделения альбита, содержащие мirmekитоподобные включения кварца, совершенно аналогично тому, как это имеет место при альбитизации петалита. Это может быть объяснено тем, что, по всей вероятности, сперва происходила альбитизация петалита, а затем уже образование по оставшемуся петалиту сподумена и кварца.

2) Зерна сподумена в кварц-сподуменовой агрегате никогда не бывают изменены и превращены в эвкриптит, хотя они и соприкасаются часто с альбитом. Процесс альбитизации сподумена (т. е. переход его в альбит и эвкриптит) [1] почти не развит, хотя альбит присутствует здесь же. Это можно объяснить толь-

Следует отметить, что образование больших кристаллов сподумена по петалиту (крупнозернистые псевдоморфозы) есть скорее всего результат вторичной перекристаллизации более мелкого агрегата аналогично тому,

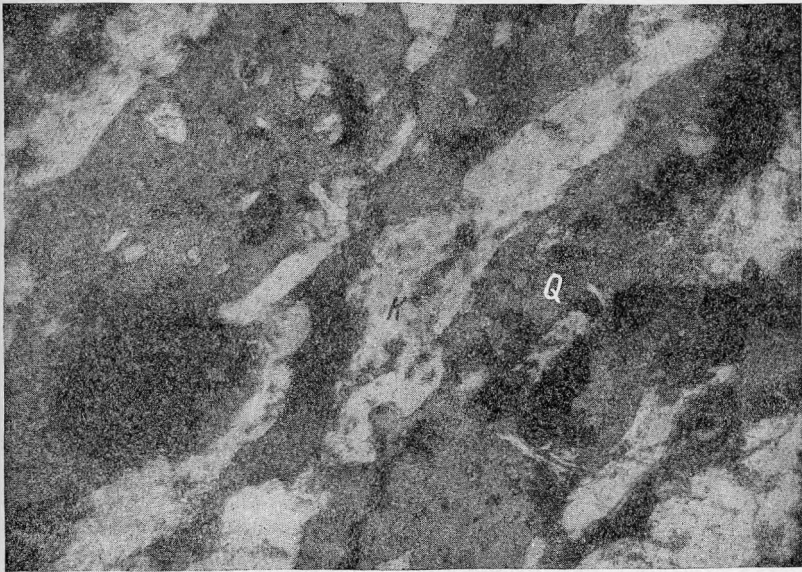


Рис. 8. Кварц-сподуменовый агрегат по петалиту, в котором лейсты сподумена замещены листочками куккеита (К). Николи скрещены. Ув. 46.

как это предполагает С. М. Курбатов [5] для скаполита и ряда других минералов, образующих псевдоморфозы по полевому шпату.

III. Образование кварц-куккентового агрегата. Игольчатые псевдоморфозы по петалиту во многих участках изменены и превращены в кварц-слюдистый агрегат. Макроскопически это сказывается в том, что мелкие пластинки сподумена исчезают, игольчатая псевдоморфоза превращается в белый, серый или розовый мелкозернистый сахаровидный агрегат кварца и слюдистого минерала. Так как листочки слюды очень мелкие, то они едва различимы невооруженным глазом и придают образцам характерный шелковистый блеск. Под микроскопом можно отчетливо наблюдать, как по лейстам сподумена, образовавшимся в результате распада петалита, развиваются мелкие листочки слюдки. Последние образуют вокруг зерен сподумена оторочки, а также замещают их с образованием по ним псевдоморфоз (рис. 8). Часто среди таких слюдистых псевдоморфоз сохраняются реликты сподумена. Слюдка, замещающая сподумен в псевдоморфозах по петалиту, резко отличается по своим оптическим свойствам и форме выделения от обычного мусковита и лепидолита. Она образует характерные веерообразные агрегаты, иногда напоминающие настоящие сферолиты с типичным облачным погасанием. Под большим увеличением видно, что облачно-погасающие сферолиты слюдки состоят из большого количества тончайших пластинок, расположенных веерообразно (рис. 9), благодаря чему весь агрегат в целом легко принять за один листочек слюды.

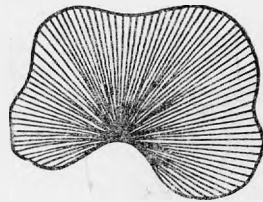


Рис. 9. Сферолит куккеита.



Одиночные листочки в тех случаях, когда они наблюдаются, вытянуты по  $N_p$ , т. е. знак главной зоны отрицательный. Оптический знак минерала — положительный, угол оптических осей — очень малый. Показатели преломления, измеренные в иммерсионных жидкостях, оказались равными:  $N_g = 1.589 \pm 0.002$ ;  $N_p = 1.572 \pm 0.001$ ;  $N_g - N_p = 0.017$ .

Проведенные реакции на литий оказались положительными.

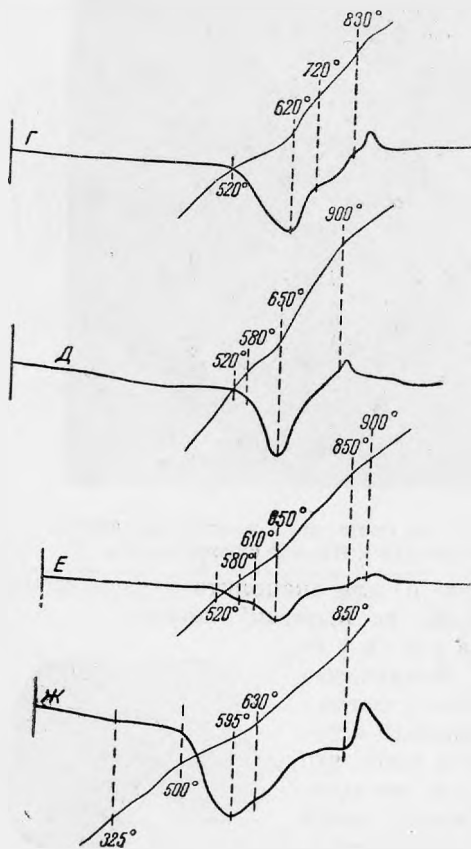


Рис. 10. Дифференциальные кривые нагревания.

Г, Д, Е — куккеит по петалиту; Ж — куккеит по рубеллиту.

Термический анализ кварц-куккеитового агрегата показывает характерную кривую нагревания с одной эндотермической остановкой с максимумом при 620–650° и одной экзотермической остановкой с максимумом при 900° (см. кривые нагревания, рис. 10).

Слюдистый минерал — куккеит почти всегда встречается совместно с мелкими зернами кварца и мелкими плоскими кристаллами апатита. Последние иногда видны макроскопически и окрашены в светлофиолетовый цвет.

Совершенно аналогичные явления образования наблюдались нами в виде псевдоморфоз по рубеллиту. Произведенная в 1944 г. кривая нагревания зеленой псевдоморфозы по рубеллиту совершенно совпадает с нашей. Подобная следа также описана К. Ляндессом [7] для пегматитов штата Массачусетт под названием «куккеита».

Из приведенной выше характеристики следует, что куккеит нельзя относить к обычным слюдам, так как он прежде всего оптически положительный и кривая нагревания его совершенно не характерна для слюд. Остановки на кривой нагревания скорее соответствуют серпентиниту или хлориту, нежели слюдам. Это обстоятельство весьма любопытно, поскольку литий по своим свойствам

ближе всего подходит к магнию и в лепидолитах играет роль двухвалентного катиона, входя в решетку совместно с  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Fe^{2+}$  в шестерную координацию.

Весьма возможно, что куккеит можно рассматривать как своеобразный литиевый хлорит, тем более, что он и по своим оптическим свойствам подходит к хлоритам (положительный оптический знак, небольшой угол оптических осей, небольшое двойное лучепреломление).

В поверхностной части месторождений встречаются глинистые псевдоморфозы по кварц-куккеитовому агрегату, образовавшемуся по петалиту, окрашенные обычно в светлорозовый цвет, мягкие, иногда жирные наощупь и часто сохраняющие шелковистый блеск. Под микроскопом отчетливо видно, что они состоят из зерен кварца и листочков куккеита,

образовавшихся по мелким иголкам сподумена. Листочки куккеита почти всюду изменены и превращены в изотропный минерал, однако при этом полностью сохраняется характерная веерообразная форма листочков куккеита. Переход куккеита в изотропный глинистый минерал происходит постепенно и начинается по краям листочков (рис. 11), при этом двойное лучепреломление его резко падает до 0.004—0.002 и одновременно с этим понижается показатель преломления. Поэтому обычно в таких листочках интерференционная окраска падает по направлению от центра к периферии. Но всей вероятности, мы в данном случае имеем дело с процессом гидратации, и куккеиты переходят в своего рода гидрокуккеиты,

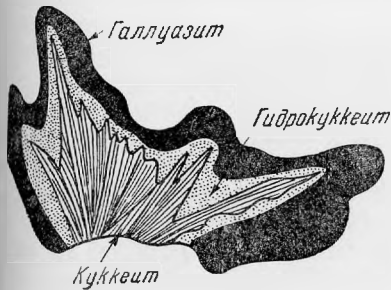


Рис. 11. Переход куккеита в галлуазит.

аналогично тому, как мусковиты переходят в гидрослюды типа иллита.

Однако этот процесс протекает еще дальше, и измененные куккеиты с низким двойным лучепреломлением переходят в совершенно изотропный глинистый минерал. Этот переход сопровождается дальнейшим уменьшением показателя преломления. Если для куккеита  $N_g = 1.589$  и  $N_p = 1.570$ , то для гидрокуккеита показатели преломления сильно колеблются, и  $N_p$  доходит до 1.552, а у изотропного минерала  $N = 1.543$ , что характерно для галлуазита. Следует отметить, что переходы от куккеита к гидратизированному куккеиту всегда постепенные, а от последнего к галлуазиту — резкие, совершенно так же, как это имеет место для слюд типа мусковита [2].

Кривая нагревания (рис. 12), полученная в Лаборатории экспериментальной петрографии ИГН Академии Наук СССР для такой кварц-куккеитовой псевдоморфозы, показала наличие нескольких остановок: слабо выраженная эндотермическая остановка при 130°, слабо выраженная эндотермическая остановка при 250° и хорошо проявившийся эндотермический

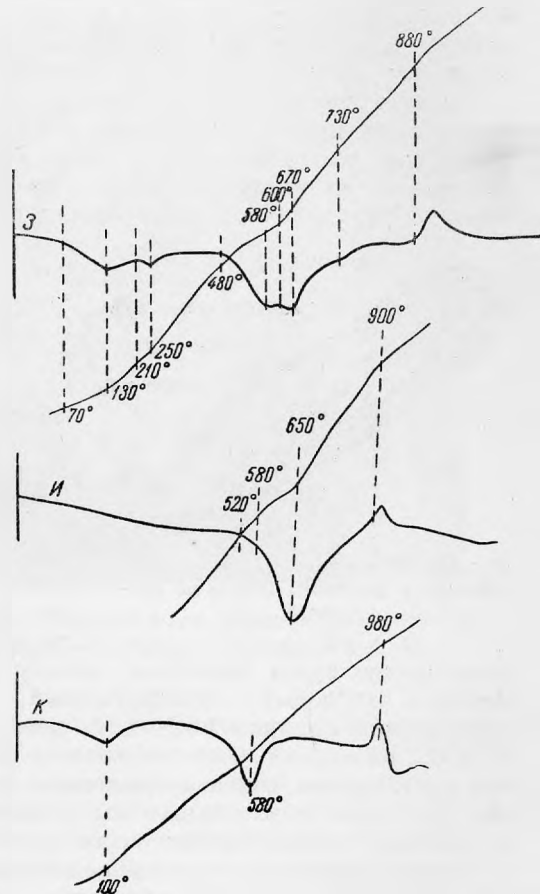


Рис. 12. Дифференциальные кривые нагревания.

З — псевдоморфоза галлуазита (по куккеиту);  
И — куккеит; К — галлуазит.

ский эффект при 580—670°. При внимательном рассмотрении видно, что здесь имеют место две эндотермические остановки, которые слились вместе: одна остановка при 580° и вторая при 650—670°. Последняя хорошо проявившаяся широкая экзотермическая остановка наблюдается при 900°.

При сравнении этой кривой нагревания с кривыми нагревания куккеита и галлуазита, образовавшегося по сподумену, видно, что: а) эндотермические остановки при 650—670° и экзотермическая при 900° обусловлены наличием в исследованном образце куккеита; б) эндотермические остановки при 130, 580° характерны для галлуазита, но у галлуазита экзотермическая остановка лежит выше, чем у куккеита, примерно на 60—80°; по всей вероятности, они в данном случае слились вместе; в) не находит себе объяснения эндотермическая остановка при 250°; по всей вероятности, она обусловлена гидратацией куккеита.

Следует отметить что процессы изменения сподумена, образовавшегося по петалиту, протекют совершенно иначе, чем это нами отмечалось раньше [1] для месторождений, в которых сподумен кристаллизовался непосредственно из остаточных расплавов. В последнем случае по сподумену всегда образовывались гидрослюдки типа онкозина-дамурита, не содержащие совершенно лития, в то время



Рис. 13. Строение псевдоморфозы калиевого полевого шпата по сподумену.

как в нашем случае по сподумену образуются литиевые слюдки — куккеиты. Подобные же псевдоморфозы куккеита по сподумену отмечались и П. Квенселем [11] для пегматитов Варутресна (Швеция).

IV. Образование по сподумену К-полевого шпата. В тех случаях, когда игольчатая, кварц-сподуменовая псевдоморфоза по петалиту переходит в кварц-куккеитовый агрегат, т. е. когда происходит замещение зерен сподумена куккеитом, среди листочков последнего часто наблюдаются мелкие зерна минерала, весьма напоминающего К-полевой шпат. Минерал двуосный, отрицательный,  $2V$  близок к  $90^\circ$ , показатель преломления порядка 1.52—1.53, двойное лучепреломление  $Ng - Np = 0.006$ , дисперсия осей сильная,  $\rho > \nu$ . Спайность совершенная в одном направлении, плохо выраженная в другом, погасание  $Ng : C$  — прямое. По всем этим данным мы имеем дело с поздними выделениями К-полевого шпата, скорее всего ортоклаза.

Весьма характерно строение подобной псевдоморфозы К-полевого шпата по сподумену (рис. 13): в центральной части ее часто сохраняются отдельные реликты сподумена, сохраняющие единую общую ориентировку [1]. Реликты сподумена находятся среди мелкозернистого агрегата К-полевого шпата [2], который окаймляется оторочкой куккеита [3]. В отдельных шлифах последняя в свою очередь окружалась каймой, состоящей из мелких зерен апатита [4]. Образование позднего К-полевого шпата по сподумену, несомненно, связано с привнесом значительных количеств  $K_2O$  и  $SiO_2$  и выносом  $Li_2O$ . Схематически уравнение может быть представлено в следующем виде:



Освобождающаяся  $Li_2O$  входит в состав куккеита.

V. Образование по петалиту глинистых минералов типа цимолита. По периферии выделений петалита и по трещинам в нем обычно развивается вторичный глиноподобный минерал. Он плотный, мягкий и окрашен в светлорозовые тона. Развивается он, главным образом, по трещинам спайности, и в отдельных участках петалит оказывается нацело измененным и превращенным в розовую глинистую псевдоморфозу. Такая псевдоморфоза легко рассыпается в руках.

Под микроскопом превращение петалита в розовый глиноподобный минерал видно во всех деталях (рис. 14). Глиноподобный минерал развивается в виде прожилков и пятен, чаще всего вдоль трещин спайности и

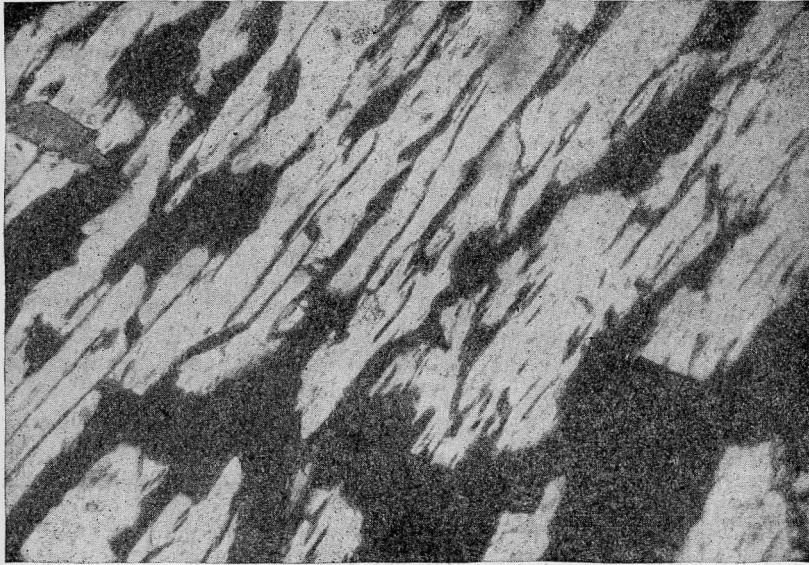


Рис. 14. Измененный петалит. По трещинам в нем развивается изотропный глинистый минерал типа цимолита. Николи скрещены. Ув. 46.

с периферии отдельных зерен. Почти все петалиты, встречающиеся на поверхности месторождений, в той или иной степени затронуты этим процессом. В проходящем свете глиноподобный минерал обычно светложелтого, розового или желтовато-зеленого цвета, реже бесцветный. Окраска очень неравномерная. Он обычно весьма неоднороден и представлен агрегатом мельчайших, неразличимых под микроскопом зерен-чешуек. Весь агрегат в целом изотропен, но в некоторых участках он агрегативно поляризует. Показатель преломления, неоднократно измеренный иммерсионным методом, оказался равным:  $n = 1.500 \pm 0.001$ .

В некоторых образцах наряду с этим глинистым минералом наблюдались мелкочешуйчатые агрегаты другого минерала, с несколько большим показателем преломления порядка 1.514—1.517. Этот минерал сильно агрегативно поляризует.

Совершенно аналогичные же розовые глинистые минералы, развивающиеся по петалиту, описаны П. Квенселем [9] из месторождения Варутреск, А. Линтоком из месторождения Оакхемптон, Дэвоншир и Нелем из Карибб (юго-зап. Африка), при этом все авторы относят их к монтмориллониту и дают для них следующие показатели преломления:

Варутреск (П. Квенсель)=1.495; Оакхемптон (А. Линток)=1.496; Калбинский хребет = 1.500.

Однако от типичного монтмориллонита все эти глинки отличаются низким показателем преломления и почти полной изотропностью. По своим оптическим свойствам они ближе всего подходят к своеобразной, мало изученной глине-цимолиту, относимой некоторыми к группе монтмориллонита.

Агрегативно поляризующий глинистый минерал с показателем преломления 1.514—1.517, скорее всего, является типичным монтмориллонитом. К сожалению, выделить его в чистом виде для дальнейших исследований не оказалось возможным.

Таким образом, устанавливаются следующие процессы изменения петалита.

I. «Альбитизация» петалита, переход его в альбит и кварц.

II. Распад петалита на сподумен и кварц.

III. Образование по петалиту кварц-куккееитового агрегата в результате замещения сподумена куккееитом.

IV. Образование по петалиту агрегата кварца, куккееита и калиевого полевого шпата в результате замещения сподумена куккееитом и калиевым полевым шпатом.

V. Образование по петалиту, сподумену и куккееиту изотропных глинистых минералов типа монтмориллонита, цимолита и галлуазита.

Первый процесс является наиболее высокотемпературным и совпадает с моментом общей альбитизации микроклина и сподумена, третий и четвертый процессы, скорее всего, относятся к гидротермальному этапу, а последний связан с гипергенными процессами.

Время распада петалита на сподумен и кварц не может быть точно установлено.

Процессы изменения петалита могут быть представлены в виде следующей схемы:



На примере образования различных псевдоморфоз по петалиту видно, что псевдоморфозы могут быть разнообразного типа: можно различать простые псевдоморфозы, при которых один минерал непосредственно образуется по другому, сохраняя при этом его форму, и сложные псевдоморфозы, при которых минерал новообразования сам изменяется и переходит в другие минералы. Такие сложные псевдоморфозы могут быть как второго порядка, так и третьего, четвертого и т. д. Например, в результате распада петалита образуется кварц-сподуменный агрегат, сохраняющий форму петалита, — простая псевдоморфоза сподумена и кварца по петалиту. Но сподумен в этой псевдо-

морфозе сам замещается листочками куккеита, при этом форма выделений его сохраняется. Образуется псевдоморфоза куккеита и кварца по петалиту, но это будет уже псевдоморфоза как бы второго порядка. Но на этом процессы изменения не останавливаются, листочки куккеита, образовавшиеся по сподумену, сами изменяются и переходят в глину — галлуазит, сохраняя при этом веерообразную форму, характерную для куккеита. В результате образуется псевдоморфоза галлуазита по петалиту, но эта псевдоморфоза будет уже третьего порядка, так как галлуазит образуется не непосредственно по петалиту, а в результате изменения куккеита, который сам образовался при замещении сподумена, как продукт распада петалита. Очевидно, что галлуазит может образоваться и непосредственно из петалита, так же как и из сподумена. Таким образом, галлуазит может образовываться как простые псевдоморфозы по петалиту первого порядка, так и сложные второго и третьего порядка.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. И. Г и н з б у р г. Процессы изменения сподумена. Зап. Минер. общ., 1944. № 4, стр. 184.
2. И. И. Г и н з б у р г. Стадийное выветривание минералов. Сб. «Вопросы минералогии, геохимии и петрографии», 1946, стр. 122.
3. П. В. Е р е м е в. Протоколы заседания СПб. Минер. общ. за 1896 г. Зап. Минер. общ., 1896, т. 34, стр. 55.
4. В. И. К р ы ж а н о в с к и й. Отчет Геологического музея Академии Наук за 1911 г.
5. С. М. К у р б а т о в. Роль водных растворов в образовании пегматитовых и контактовых месторождений. Тр. Юбил. научн. сесс. ЛГУ, 1946, стр. 39.
6. R. H a t c h. Phase equilibrium in the system:  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Amer. Miner., 1943, v. 28, № 9—10, p. 471—496.
7. K. L a n d e s. The paragenesis of the granite pegmatites of Central Maine. Amer. Miner., 1925, v. 10, p. 355.
8. H. J. N e l. Petalite and Amblygonite from Karibib. South-West Africa. Amer. Miner., 1946, v. 31, № 1—2, p. 51.
9. P. Q u e n s e l. Petalite and its Alteration Product, Montmorillonite. Geol. Fören. Förhandl., 1937, Bd. 59, H. 2, p. 150.
10. P. Q u e n s e l. Spodumene and its Alteration Products. Geol. Fören. Förhandl., 1938, Bd. 60, H. 2.
11. P. Q u e n s e l. On the Occurrence of Cookeite. Geol. Fören. Förhandl., 1937, Bd. 59, H. 3, p. 262—268.
12. P. Q u e n s e l. A Spodumene-Quartz Symplektite. Geol. Fören. Förhandl., 1946. Bd. 68, H. 1.