

А. И. ГИНЗБУРГ, Н. С. ГУЩИНА

ПЕТАЛИТ ИЗ ПЕГМАТИТОВ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Впервые в 1946 г. в пегматитах одного из сподуменовых месторождений Восточного Забайкалья нами был обнаружен петалит в виде полупрозрачных скоплений неправильной формы белого и светлорозового цвета. Эти скопления находились в сподуменовом пегматите в тесной ассоциации с полихромным турмалином и лепидолитом.

В 1950—1951 гг. Г. Н. Тарновским в этом же месторождении в пустотах альбитизированного пегматита были обнаружены большие кристаллы совершенно прозрачного бесцветного петалита — касторита. Работами 1951—1952 гг. нами было установлено, что петалит широко распространен в сподуменовых пегматитах и представлен тремя различными разновидностями.

Первая разновидность петалита (петалит I) образует большие выделения неправильной формы размером до 15—20 см в поперечнике, а также зернистые и пластинчатые агрегаты, непрозрачные, желтого до буровато-желтого цвета. Петалит I встречается в тесной ассоциации с микроклином, сподуменом, кварцем, мусковитом и интенсивно развивается по сподумену и микроклину. В нем часто встречаются пустоты удлиненной формы, вытянутые в одном направлении, со следами продольной штриховки на стенках. В таких пустотах под бинокулярной лупой часто можно наблюдать реликты сподумена. Среди скоплений петалита I можно также обнаружить остатки микроклина; в других образцах видно, что петалит выделяется по прожилкам в микроклине.

Выделения буровато-желтого петалита в тех случаях, когда они находятся в кварце, всегда имеют неправильную, сильно разъеденную форму. Петалит интенсивно замещается зеленой грейзеновой слюдкой (литийсодержащий мусковит). Отдельные пластинки мусковита находятся внутри петалита и характеризуются наличием тончайших включений графита, располагающихся по периферии пластинок мусковита, вследствие чего последние приобретают зональную структуру (рис. 1). Петалит также разъедается альбитом, касситеритом, манганопатитом. Отличительная особенность петалита I заключается в том, что он всегда в той или иной степени изменен, превращен в агрегат различных цеолитов и с поверхности покрыт розовыми налетами монтмориллонита.

Вторая разновидность петалита (петалит II) встречается в виде хорошо образованных кристаллов и агрегатов кристаллов длиной до 2—3, реже до 5—10 см, а также неправильных выделений.

Кристаллы полупрозрачные до совершенно прозрачных, бесцветные или белые, значительно реже имеют розоватый оттенок.

Форма кристаллов петалита II весьма характерна, кристаллы обычно

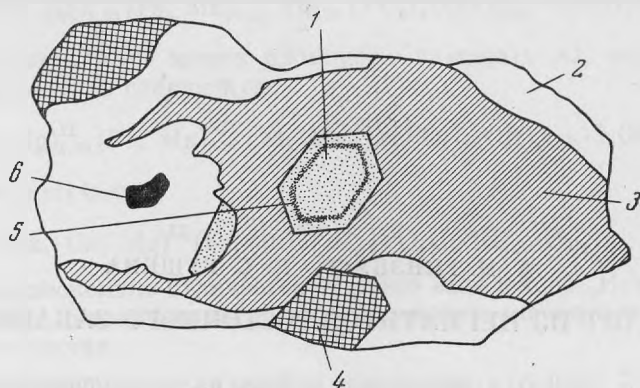


Рис. 1. Мусковит с включениями графита среди неправильных выделений петалита I:

1 — слюда; 2 — кварц; 3 — петалит; 4 — микроклин; 5 — графит; 6 — апатит

удлинены по (010), таблитчатые и покрыты прекрасно выраженной штриховкой на гранях пояса (010). Рентгенографическое и оптическое изучение кристаллов, произведенное Н. С. Гуциной, показало, что все кристал-

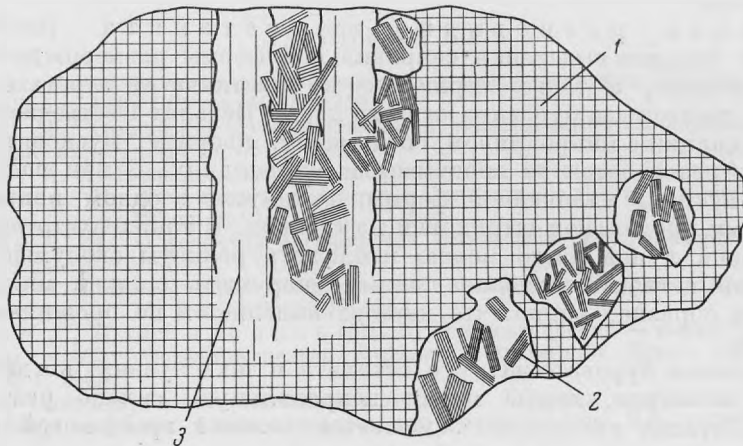


Рис. 2. Кристаллы петалита II в пустотах растворения сподумена, а также совместно с реликтами сподумена:

1 — микроклин; 2 — кристаллики петалита II; 3 — реликты сподумена

лы представляют собой полисинтетические двойники, срастающиеся по плоскости (001).

Петалит II встречается иногда в пустотах кварца; в одних случаях он занимает промежутки между кристаллами микроклина, находящимися в этих пустотах, в других — кристаллы прозрачного петалита можно было обнаружить в пустотах разъедания среди выделений более раннего

желтого петалита I. Однако наиболее широко распространены кристаллы петалита II в альбитизированных участках сподуменовых пегматитов. При этом они обычно встречаются в пустотах среди агрегата альбита, нарастая на кристаллах последнего. В отдельных участках среди таких пустот в альбите можно было обнаружить реликты сильно разведенного, полупрозрачного К-полевого шпата типа адуляра. Однако основная масса пустот в альбите образовалась вследствие выщелачивания сподумена натриевыми растворами, давшими начало альбиту. Пустоты эти во многих случаях сохраняют удлинненную, вытянутую в одном направлении форму растворенных кристаллов сподумена; кое-где появляются в них и почти нацело разведенные реликты сподумена (рис. 2). В этих-то пустотах растворения сподумена и встречается основная масса прозрачных кристаллов петалита II (касторита). Они часто нарастают на пластинках альбита и образуют спутанный агрегат удлинненных таблитчатых кристаллов (часто в сечении они имеют форму вытянутого ромба), нарастающих на стенках пустот. Ассоциируют подобные петалиты с мелкими кристаллами прозрачного альбита (выстилающими стенки пустот) и иногда с поздними кристалликами кварца.

К этой же разновидности петалита относятся, повидимому, сплошные полупрозрачные выделения розового цвета, встреченные в одной из жил в 1946 г., среди которых находились крупные идиоморфные кристаллы полихромного турмалина и листочки ленидолита, разьедаемые петалитом.

В отличие от желтого, более раннего петалита I, указанные кристаллы только в редких случаях бывают изменены и превращены в агрегат цеолитов и монтмориллонит, большей же частью они совершенно не затронуты процессами изменения.

Третья разновидность петалита (петалит III) представлена сильно удлинненными по оси В кристалликами, имеющими вид тонких иголок с характерным ромбическим сечением. Длина таких иголок варьирует от нескольких миллиметров до 1—2,5 см при поперечном сечении 0,01—1 мм и реже до 2 мм. Грани таких сильно удлинненных кристаллов обычно покрыты продольной штриховкой. Кристаллы всегда прозрачны, бесцветны и обычно образуют спутанно-волоконистый агрегат, заполняющий мельчайшие пустотки и трещины в пегматите, часто нарастают на более крупных пластинчатых кристаллах петалита II, с которыми связаны взаимными переходами. Агрегаты подобных тончайших кристаллов-иголок наблюдались нами в трещинах в микроклине (рис. 3), где они развивались по нацело измененному прожилку петалита I.

Для второй и третьей разновидностей петалита наиболее характерно нахождение их в виде хорошо образованных прозрачных кристаллов, имеющих, как мы уже указывали, вид тонких иголок или вытянутых пластинок с уплощенным ромбическим поперечным сечением, а также

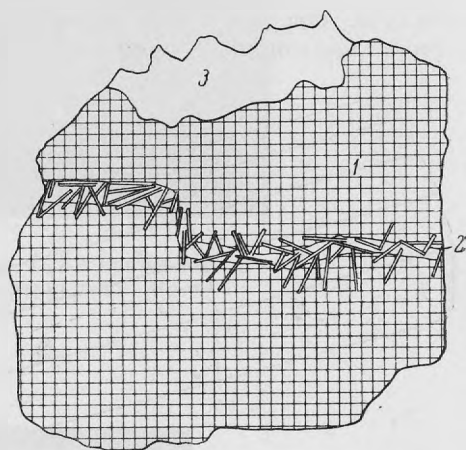


Рис. 3. Иголки петалита III, развитые в трещине микроклина:

1 — микроклин; 2 — кристаллики петалита III; 3 — кварц

постоянное наличие штриховки, проходящей вдоль удлиненных кристаллов параллельно $[010]$.

Кристаллы петалита II и петалита III из пустот в альбите были измерены Н. С. Гущиной на двукружном гониометре Гольдшмидта. Кристаллы петалита III сильно вытянуты, не имеют головок и характеризуются развитием только граней пояса $[010]$; кристаллы петалита II имеют короткостолбчатый облик, значительно утолщены по сравнению с первыми и оканчиваются головкой, представленной гранью b (010) или гранями b (010) и x (121). Постоянное присутствие штриховки, округляющей грани кристаллов, затрудняло измерение их на гониометре, поскольку от каждой грани получалась серия очень близко расположенных друг к другу

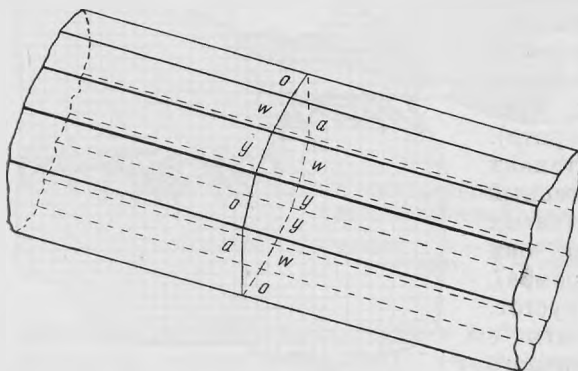


Рис. 4. Кристалл петалита III. Ось b повернута на 20° по часовой стрелке; кристалл повернут вокруг оси b на 40° от себя

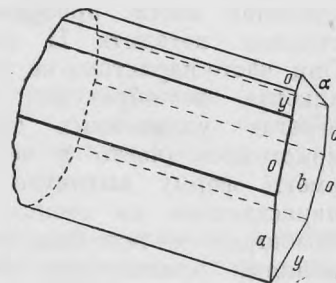


Рис. 5. Кристалл петалита II. Ось b повернута на 20° по часовой стрелке; кристалл повернут вокруг оси b на 40° от себя

отсветов. С помощью ширм удалось выделить наиболее яркие отсветы, которые только и принимались во внимание. Угловые расстояния между слабыми и близко расположенными отсветами давали представление о густоте штриховки; как правило, они равнялись $1,5-2^\circ$.

На кристаллах петалита III (рис. 4) были обнаружены грани a (100), o (101), y (102), w (203), на кристаллах петалита II (рис. 5) — грани a (100), o (101), y (102), b (010), α (201), x (121). На основании произведенных измерений кристаллы должны были бы быть отнесены к ромбо-дипирамидальному виду симметрии ромбической сингонии, тогда как известно, что петалит моноклинный. Объясняется это тем обстоятельством, что все измеренные кристаллы представляли собой двойники.

Произведенные оптические исследования не дали возможности однозначно решить вопрос о расположении двойниковой плоскости: либо двойниковая плоскость совпадает с гранью (001), либо же она располагается перпендикулярно к ней, оставаясь параллельной оси b $[010]$. В обоих случаях получаются практически одни и те же результаты, с точностью в 2° . Если учесть влияние штриховки, то эта точность становится вполне оправданной. Вопрос о законе двойникования оказался разрешимым только на основании рентгеновских исследований.

Таким образом, полученный первоначально вид симметрии $3L_2ZPC$ является завышенным; если учесть влияние двойниковой плоскости, вид симметрии должен быть призматический, моноклинной сингонии, что

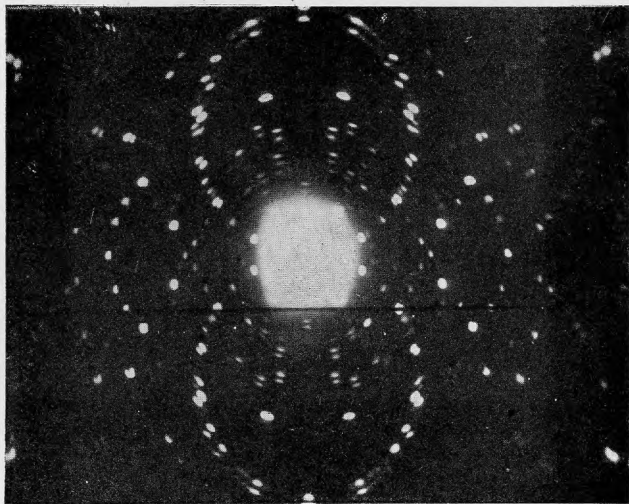


Рис. 6. Лауэграмма петалита. Ось b направлена горизонтально, ось a — вертикально. Mo — излучение

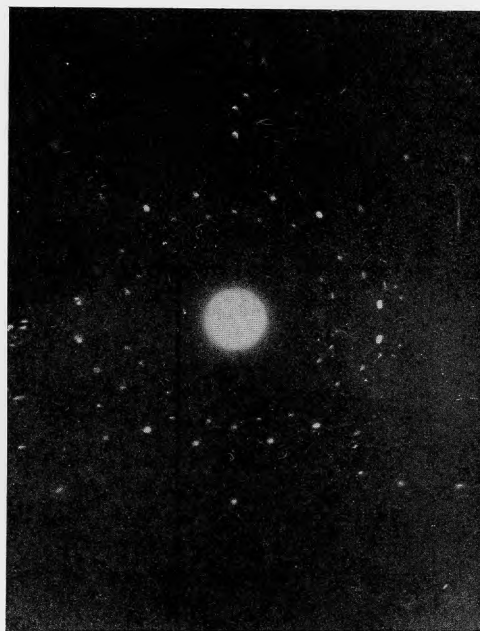


Рис. 7. Лауэграмма петалита. Ось b направлена вертикально. Fe -излучение.

вполне соответствует литературным данным. Отношение осей в этом случае

$$a : b : c = 1,450 : 1 : 1,4862; \beta = 112^\circ 38';$$

эти данные близки к литературным —

$$a : b : c = 1,153 : 1 : 1,487; \beta = 112^\circ 26'.$$

Рентгеноструктурное исследование кристаллов петалита Н. С. Гущина проводила на кафедре кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета МГУ. Кристалл петалита был юстирован по оси [010] и с него были сняты две лауэграммы: одна по оси a [100], другая по направлению, перпендикулярному к плоскости (001). Обе лауэграммы (рис. 6 и 7) обнаружили присутствие плоскости симметрии, перпендикулярной к оси [010], как этого и следовало ожидать, исходя из имеющихся в литературе данных [Госнер и Масгнуг [Gossner a. Mussgnug, 1930]. Но кроме этой плоскости симметрии, на лауэграммах отчетливо выявилось наличие еще двух плоскостей: плоскости, проходящей через оси [010] и [100], и плоскости, перпендикулярной к оси [100]. Это обстоятельство завывает симметрию кристалла, делая ее ромбической, что вполне понятно, так как снятый кристалл представляет собой двойник.

По рентгенограммам качания были измерены периоды идентичности в трех взаимно перпендикулярных направлениях, соответствующих координатным осям петалита в ромбической установке, и вычислены размеры элементарной ячейки петалита (табл. 1).

Таблица 1

Размеры элементарной ячейки петалита

Параметры элементарной ячейки	Измеренные данные в ромбической установке в Å	По литературным данным (Госнер и Масгнуг, 1930) в Å
a_0	11,86	11,77
b_0	5,17	5,13
c_0	28,09	15,17
β	—	112°44'
$a_0 : b_0 : c_0$	2,294 : 1 : 5,435	2,298 : 1 : 2,959

Как и следовало ожидать, значения a_0 и b_0 совпадают с достаточной точностью с литературными данными, а значение c_0 расходится.

Анализ произведенных лауэграмм и вейсенбергограмм позволил однозначно решить вопрос о законе двойничкования петалита — двойниковой плоскостью оказалась плоскость спайности (001).

Для детального структурного исследования петалита были сделаны попытки отыскать монокристаллы. Но в результате рентгеноструктурного анализа выяснилось, что все имеющиеся у нас кристаллы петалита, так же как и петалита с о-ва Эльбы (образец из Минералогического музея Академии Наук СССР), обнаруживают двойниковое сложение.

Физические свойства петалита из пегматитов Восточного Забайкалья не отличаются существенно от таковых петалита других месторождений; твердость его 6—6,5, спайность — совершенная по (001) и ясная по (201). Замеренный угол между трещинами спайности равняется 144°. На плоскости спайности (001) петалит имеет стеклянный, очень редко перламутровый блеск. В катодной установке и в ультрафиолетовом свете практически не люминесцирует.

Удельный вес всех трех разновидностей петалита из Восточного Забайкалья колеблется в небольших пределах (табл. II).

Таблица II
Удельный вес петалита

Месторождение	Удельный вес
Восточное Забайкалье, СССР	
Петалит I (желтый)	2,300—2,310
Петалит II (бесцветный)	2,327—2,328
Петалит III (игольчатый)	2,391—2,395
Сан-Пиетро-ин-Кампо, о-в Эльба	2,386—2,405
Лондондерри, Австралия	2,38 —2,41
Варутреск, Швеция	2,404—2,418
Сомеро, Финляндия	2,412
Утё, Швеция	2,421—2,583
Калбинский хребет, СССР	2,5

Как видно из табл. II, петалит Восточного Забайкалья отличается пониженным удельным весом, только игольчатый, самый прозрачный и чистый петалит имеет нормальный удельный вес, равный 2,39—2,40, приближающийся к удельному весу прозрачного петалита из пегматитов о-ва Эльбы.

Резко пониженный удельный вес раннего желтого петалита I (2,30—2,31) может быть объяснен тем, что он всегда в той или иной степени изменен и превращен в гейландит, удельный вес которого 2,2. Процесс образования гейландита вдоль трещин петалита (см. ниже) отчетливо виден под микроскопом в любом, даже в наиболее чисто отобранном под лупой материале, что, естественно, сказывается на удельном весе. Бесцветный прозрачный петалит II также, несмотря на свою прозрачность, не является совершенно однородным, так как весь переполнен многочисленными газовожидкими включениями, иногда видимыми даже под бинокулярной лупой. Несомненно, что избыток этих включений должно сказаться на удельном весе минерала в сторону его уменьшения. Следует отметить, что при растирании в ступке или при ударе петалит II издает очень сильный и неприятный запах тухлой капусты, что также свидетельствует об избытке в петалите газовых включений, представленных газообразными органическими соединениями.

Оптические свойства петалита всех трех разновидностей практически не отличаются друг от друга. Петалит оптически положительный с углом оптических осей $2V = 82^{\circ}20'$. Никаких существенных колебаний в оптических свойствах петалита не наблюдается — они удивительно постоянны (табл. III), несмотря на колебания удельного веса и химического состава.

Плоскость оптических осей петалита перпендикулярна к (010) и составляет угол в $1-1,5^{\circ}$ с плоскостью спайности (001), вследствие чего погасание петалита почти прямое (рис. 8). Удлинение петалита не является постоянной величиной. Мы уже указывали, что все наблюдавшиеся нами кристаллы были сильно вытянуты по оси [010], с которой совпадает N_g оптической индикатрисы. Следовательно, описываемый петалит имеет положительное удлинение, тогда как по литературным данным петалит

Таблица III

Показатели преломления петалита¹

Показатели	Восточное Забайкалье			Калбинский хребет	Сомеро, Финляндия	Карибб. юго-западная Африка	Варутреск, Швеция
	желтый петалит I	бесцветный петалит II	иглочатый петалит III				
n_p	1,505	1,504	1,504	1,505	1,504	1,505	1,504
n_m	1,510	1,511	1,509	1,511	1,510	1,510	1,509
n_g	1,517	1,515	1,516	1,516	1,516	1,516	1,516
$n_g - n_p$	0,012	0,011	0,012	0,011	0,012	0,011	0,012

¹ Точность измерения $\pm 0,002$.

характеризуется отрицательным удлинением. Объясняется это тем, что кристаллы петалита из других месторождений часто вытянуты по [100].

Мы уже указывали, что все кристаллы петалита представляли собой полисинтетические двойники. Однако в шлифах двойниковое строение их обычно незаметно. На ориентированном шлифе, изготовленном перпендикулярно к оси [010], удалось наблюдать слабо выраженное двойниковое сложение: полисинтетические двойники петалита, срастающиеся по плоскости (001), отличались друг от друга небольшим изменением оптической ориентировки. Угол между погасанием обеих половин двойника равнялся всего 3° , а угол между двойниковой плоскостью и осями оптической индикатрисы каждого индивида соответственно составляет $1,5^\circ$. Вследствие этого двойниковое строение в петалите обычно незаметно, особенно в косых разрезах, и становится четко видимым только в момент почти полного погасания зерен.

Полисинтетические двойники петалита необычайно напоминают двойники альбита, и петалит в шлифах легко может быть принят за альбит. Двойниковое строение петалита является характернейшей его особенностью, на что до настоящего времени мало обращали внимания. Только в литературе последних лет стали появляться указания на двойниковое строение выделений петалита. Так, Т. Миккола и Г. Виик (Mikkola a. Wiik, 1947), описывая петалит из месторождения Сомеро в Финляндии, указывают, что зерна его имели четко видимое двойниковое строение, напоминающее строение плагиоклазов, при этом двойниковой плоскостью их является, повидимому, (001). В работе Г. Неля (Nel, 1946) также имеются указания на то, что сплошной массивный петалит из юго-западной Африки под микроскопом оказался состоящим из отдельных вытянутых по (001) неправильных пластинок, отличающихся друг от друга по незначительному изменению оптической ориентировки. Повидимому, двойниковое строение для петалита столь же типично, как для плагиоклазов и амблигонита.

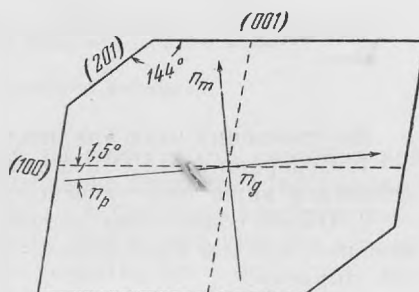


Рис. 8. Оптическая ориентировка петалита

Химические анализы трех указанных выше разновидностей петалита были произведены химиком Минералогического музея АН СССР Н. В. Воронковой (табл. IV).

Таблица IV

Химический состав петалита Восточного Забайкалья

Окислы	Желтый петалит I	Бесцветные кристаллы петалита II	Игольчатый петалит III
SiO ₂	75,67	78,15	77,08
Al ₂ O ₃	15,29	15,88	16,30
Fe ₂ O ₃	1,30	1,42	1,09
FeO	0,28	—	0,19
CaO	0,80	0,20	0,20
MgO	0,27	0,23	0,07
Li ₂ O	3,61	4,10	3,99
K ₂ O	} 1,00	} 0,44	} 0,58
Na ₂ O			
H ₂ O ⁺	1,60	} 0,19	} 0,11
H ₂ O ⁻	0,37		
Сумма . .	100,19	100,61	99,61

Из сравнения этих анализов можно сделать следующие выводы.

1. Содержание Li₂O в петалите колеблется от 3,61 до 4,10%, всегда оставаясь ниже теоретического 4,9%.

2. Общее содержание железа в петалите всех трех типов сравнительно высокое, причем наибольшее — в желтом петалите, чем можно объяснить его окраску.

3. Ранний, желтый, петалит I по своему составу отличен от бесцветного петалита II и игольчатого петалита III, которые весьма близки между собой. Различие заключается в значительно большем содержании CaO, Na₂O + K₂O, H₂O, в меньшей степени MgO, FeO + Fe₂O₃. В то же время он характеризуется меньшим содержанием Li₂O, SiO₂, Al₂O₃.

Спектральные анализы трех разновидностей петалита произведены Н. В. Лизуновым (рис. 9), в целом они подтверждают данные химических анализов и показывают резкое уменьшение (по мере перехода от раннего петалита к позднему) содержания Fe, Mg, Ca, Na, Mn. Весьма характерно появление в раннем петалите сильных линий Ba, слабых линий Sr — элементов, совершенно не характерных для литиевых пегматитов, а также слабых линий Ga и следов Cu.

Петалит I по своему составу значительно отличается от петалита II, в то время как оптические свойства их практически одинаковые; это свидетельствует о том, что Ca, Na, K, Ba, H₂O вряд ли входят в решетку петалита, тем более что трудно себе представить, чтобы такой ион, как Li или Al, мог замещаться Ca, K или Ba. Наличие указанных примесей легко можно объяснить тем обстоятельством, что ранний желтый петалит I всегда в той или иной степени изменен и вдоль микроскопических трещин превращен в агрегат цеолитов, в частности, гейландита. Присутствие в петалите I цеолитов типа гейландита обуславливает высокое содержание Ca, Na, K, H₂O, а также Ba и Sr — элементов, типичных для цеолитов.

Взаимоотношения петалитов различных типов с сопутствующими минералами четко видны как на отдельных образцах, так и под микроскопом.

Петалит I образуется позже сподумена и метасоматически его замещает вплоть до полного исчезновения последнего. Под микроскопом среди катаклазированных и разъеденных зерен петалита I часто можно наблюдать отдельные разрозненные реликты сподумена, сохраняющие единую оптическую ориентировку и образующие своего рода структуры «архипелага» (рис. 10). Этот процесс замещения сподумена петалитом характерен не только для сподуменных пегматитов Восточного Забайкалья, но и был описан ранее для других месторождений (Гинзбург, 1944).

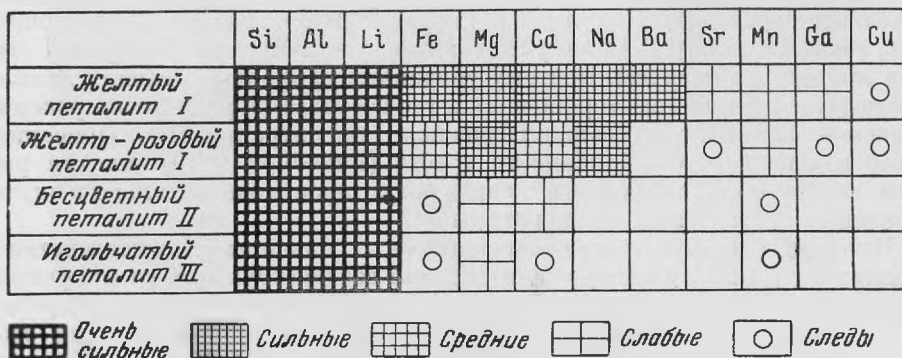


Рис. 9. Спектральные анализы петалита.

Наиболее интересен вопрос о времени развития этого своеобразного процесса «петалитизации» сподумена. Образование петалита I, несомненно, происходит позже микроклина, поскольку он встречается в микроклине в виде ветвящихся прожилков, пересекающих пертитовые вростки альбита и усиленно замещает микроклин. Следует указать, что в некоторых случаях микроклин, встречающийся совместно с измененным петалитом, весь разъеден и характеризуется наличием многочисленных удлиненных пустот, придающих ему местами ячеистую структуру. Под микроскопом четко видно, что эти пустоты частично выполнены продуктами изменения петалита — агрегатом сферолитов кукента, зернами кварца и цеолитами, при этом во многих случаях эти удлиненные пустоты с продуктами изменения петалита четко пересекаются лейстами и прожилками альбита, замещающими микроклин (рис. 11).

Таким образом, петалит I образовался явно позже пертитовых вросток альбита в микроклине, но до развития процесса альбитизации.

Мы уже указывали, что границы соприкосновения петалита I с кварцем всегда неровны, извилисты, характеризуются многочисленными заливами в сторону петалита. Под микроскопом видно, что кварц интенсивно замещает петалит I, так что от последнего сохраняются совершенно неправильные, разъеденные (рис. 12), часто разрозненные выделения, сохраняющие единую оптическую ориентировку. Этот процесс разъедания петалита I кварцем необычайно характерен и приводит к образованию своеобразного кварц-петалитового агрегата, состоящего из петалита, густо пронизанного кварцем. Таким образом, последовательность выделения указанных минералов следующая:

Микроклин Петалит I
Сподумен Кварц

Своеобразные взаимоотношения сподумена, петалита и кварца, при которых сподумен замещается петалитом, а петалит — кварцем, становятся понятными из рассмотрения диаграммы фазового равновесия системы кварц — эвкрипитит ($\text{SiO}_2 - \text{LiAlSiO}_4$), полученной Р. Рой, Д. Рой и Е. Осборном (R. Roy, D. Roy a. E. Osborn, 1950) при давлении около 700 ат. Согласно экспериментальным работам сподумен при указанном давлении и присутствии водяного пара устойчив только в интервале температур 375—500°. При этом характерно, что изменение давления от 140 до 1400 ат изменило эти данные только на 15°. Из диаграммы состояния кварц—эвкрипитит следует, что при повышении концентрации SiO_2 свыше 78% и при температуре не более 480° сподумен существовать не может и должен переходить в петалит и кварц. При повышении концентрации SiO_2 свыше 90% неустойчивым становится уже петалит, который должен замещаться кварцем. Поэтому указанные природные явления должны наблюдаться во всех месторождениях, где достигается равновесие рассматриваемой системы при увеличивающейся концентрации SiO_2 . Описанные ранее для пегматитов Калбинского хребта (Гинзбург, 1949) явления распада петалита на сподумен и кварц могут происходить только в случае внезапного повышения температуры.

Петалит II образовался в совершенно иных условиях. Под воздействием поздних натриевых растворов, интенсивно воздействующих на микроклин и приводящих к образованию альбита, в определенной физико-химической обстановке происходило растворение кристаллов сподумена. При этом процессе растворения сподумена в раствор должны были перейти все составляющие его компоненты. Условия растворения, очевидно, были такими, что образовавшиеся при этом процессе литийсодержащие растворы не могли выноситься из замкнутых пустот растворения сподумена. Из этих растворов выкристаллизовывались прозрачные кристаллы петалита (поскольку сподумен при низких температурах кристаллизоваться не может). До некоторой степени загадочным является полное отсутствие в этих пустотах литиевых слюд, в частности лепидолита, поскольку трудно предположить, чтобы образование петалита происходило в условиях отсутствия водяного пара.

Следует указать, что на стенках пустот, находящихся в альбите, нарастают кристаллы петалита и обычно отсутствуют другие минералы, за исключением тех случаев, когда кристаллы петалита изменены и превращены в агрегат цеолитов и куксита.

Наиболее интересной и до настоящего времени в литературе не описанной разновидностью являются своеобразные кристаллы петалита III, часто образующие спутанно-волокнистый и даже войлокоподобный агрегат, состоящий из тончайших иголок, имеющих ромбическое поперечное сечение. Подобные игольчатые кристаллы петалита по характеру своего выделения весьма напоминают кристаллы цеолитов; так же, как и последние, они нарастают на петалите II и альбите в пустотах, выполняют трещины в различных минералах, часто располагаются среди нацело измененного петалита I, превращенного в агрегат вторичных минералов. Образуется петалит III либо на самых последних стадиях гидротермального процесса, либо даже в условиях гипергенеза.

ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕТАЛИТА

Петалит необычайно легко изменяется под воздействием различных гидротермальных и гипергенных процессов. Только кристаллы петалита, образовавшиеся в замкнутых пустотах, не затронуты этими процессами. Особенно сильно всегда изменены выделения петалита I; при этом наблюдается не-

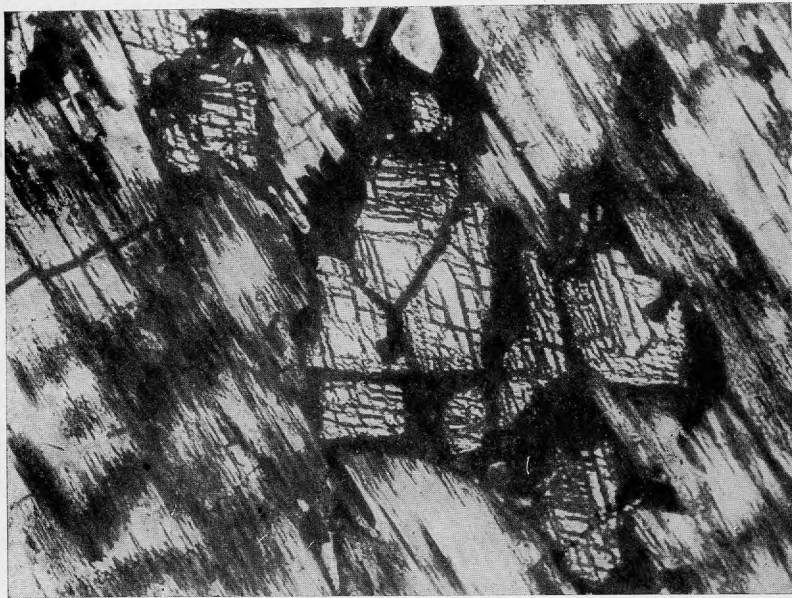


Рис. 10. Реликты сподумена в петалите. Николи +. $\times 60$

сколько весьма характерных, в литературе почти не описанных, процессов его изменения.

1. Все выделения петалита I, даже кажущиеся под бинокулярной лупой совершенно чистыми, изменены в той или иной степени. Изменение это первоначально сказывается в том, что вдоль всех мельчайших трещин, пересекающих петалит в различных направлениях, появляются участки с пониженным двойным лучепреломлением. Весьма часто эти измененные участки приобретают своеобразную форму: они располагаются вдоль трещин спайности петалита, слегка удлинены и имеют вид вытянутых остроугольных треугольников, напоминающих своего рода «зазубрины»

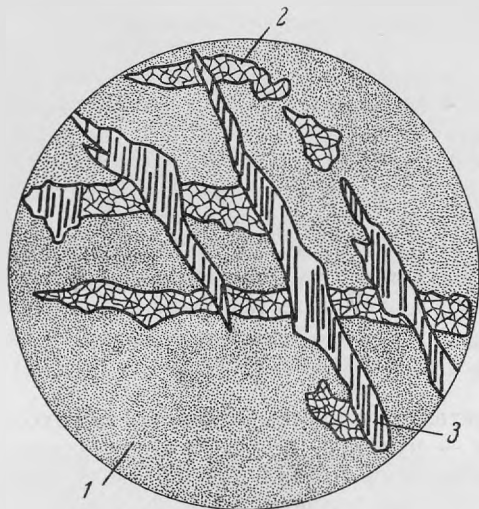


Рис. 11. Пересечение альбитом прожилков измененного петалита в микроклине:

1 — микроклин; 2 — измененный петалит; 3 — альбит

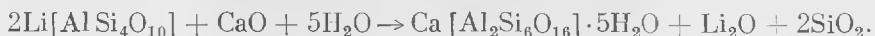
или «риски». Характерно, что все такие измененные участки имеют единую ориентировку и обращены своим острым углом в сторону от той трещины, вдоль которой они образуются (рис. 13).

Под микроскопом при большом увеличении видны все стадии изменения петалита; первоначально границы между измененными участками — «зазубринами» — и петалитом постепенные и изменения сказываются только в понижении $N_g - N_p$ с 0,010—0,011 до 0,005—0,007. При дальнейшем изменении «зазубрины» приобретают форму правильных кристаллов, границы между ними и петалитом становятся более резкими, $N_g - N_p$ падает до 0,003—0,004, показатели преломления их становятся меньше, чем у петалита, и такие измененные участки отчетливо выделяются при одном никеле вследствие появления дисперсионного эффекта. Наконец, у них появляется совершенная спайность, располагающаяся косо к спайности петалита. При развитии этого процесса изменения отдельные «зазубрины» сливаются вместе, и петалит оказывается пронизанным серией ветвящихся прожилков, часто сохраняющих единую оптическую ориентировку (рис. 14). Наконец, когда этот процесс заканчивается, образуются кристаллы нового минерала, в которых сохраняются иногда вытянутые в одном направлении реликты петалита (рис. 15).

Размеры кристаллов минерала-новообразования достигают 3—4 мм. Кристаллы имеют таблитчатый облик, окрашены в светложелтый, кремовый цвет и отличаются наличием совершенной спайности в одном направлении, на плоскостях которой иногда появляется перламутровый блеск. Минерал оптически двусный, положительный, $2V = 30-33^\circ$; $c:Ng = 3-6^\circ$. Измеренные в иммерсионных жидкостях показатели его преломления равны: $N_p = 1,498 \pm 0,002$; $N_m = 1,500 \pm 0,002$; $Ng = 1,505 \pm 0,002$; $Ng - N_p = 0,007$.

Судя по всем этим данным, минерал-новообразование, развивающийся по петалиту, является гейландитом. Спектральный анализ, произведенный Н. В. Лизуновым в лаборатории Института геологических наук АН СССР, подтвердил этот вывод и показал сильные линии Si, Al, Ca, Mg, средние линии Fe, Ba, слабые линии Na, Mn, очень слабые линии Sr и следы Ga. Весьма характерно полное отсутствие в гейландите Li и появление Ba и Sr — элементов, вообще характерных для цеолитов и обычно не встречающихся в пегматитах.

Процесс образования гейландита по петалиту, или процесс «гейландитизации», как его можно назвать, развит в изученном месторождении необычайно широко и приводит в конечном итоге к образованию на месте петалита агрегата кристаллов гейландита. Сущность этого процесса состоит в выносе из петалита Li_2O , SiO_2 и в привносе CaO и H_2O . Схематически этот процесс может быть изображен в следующем виде:



Выносимая из петалита при этом процессе Li_2O входит в состав позднего литиевого хлорита — кукейта, всегда присутствующего в том или ином количестве среди измененного петалита и иногда образующего отдельные скопления между его кристаллами (рис. 16).

Наиболее сильно процессу «гейландитизации» подвергся ранний петалит I. Пониженный удельный вес, появление в его составе значительных количеств CaO, Na_2O , H_2O , особенно наличие Ba и Sr, так же как пониженное содержание Li_2O и SiO_2 , — все это легко объясняется развитием гейландита вдоль микротрещин в петалите I.

2. Помимо перехода петалита в гейландит, в месторождении наблюдается своеобразный процесс образования по петалиту мелкозернистого мелоподобного или глиноподобного вещества. Подобные явления чаще всего наблюдаются в пустотах. В этом случае по петалиту II развивается мелкозернистый агрегат белого или желтоватого, кремового цвета, по внешнему виду напоминающий каолин. Это мягкое глиноподобное вещество (твердость 1—2) в отдельных случаях покрывает кристаллы петалита и образует на нем корки, в других же случаях развивается вдоль трещин петалита (рис. 17) и замещает его вплоть до образования типичных вытянутых псевдоморфоз по пластинчатому и игольчатому его кристаллам.

Под бинокулярной лупой четко видно, что это вещество неоднородно, в нем почти всегда можно наблюдать чешуйки слюды и мелкие (до 1—2 мм) двухконечные идиоморфные кристаллы кварца, часто округленные и имеющие форму маленьких чечевиц, срastaющиеся друг с другом и иногда образующие розетки. Под микроскопом видно, что глиноподобное вещество представляет собой агрегат нескольких минералов. Основная масса его изотропна или слабо агрегативно поляризует, с низким показателем преломления, варьирующим от 1,460 до 1,480 в зависимости, видимо, от содержания железа (у желтых, кремовых разностей $n = 1,480$). В большинстве же случаев этот изотропный минерал раскристаллизова

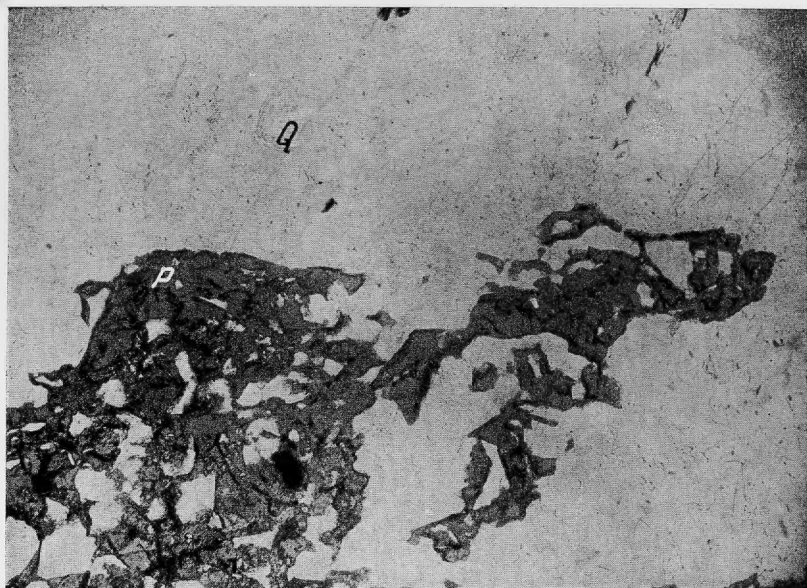


Рис. 12. Замещение петалита (P) кварцем (Q). Николи + $\times 20$

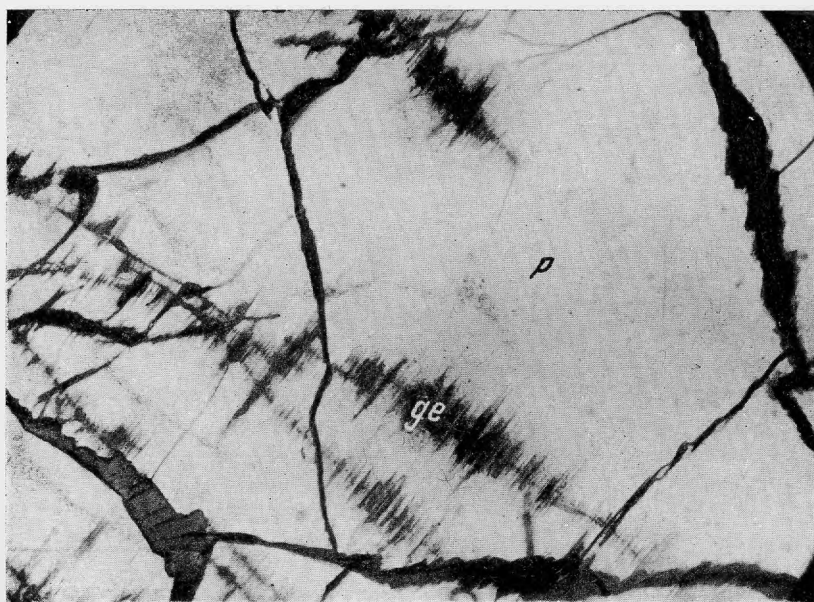


Рис. 13. «Риски» гейландита (ge), развивающиеся по трещинам в петалите (P). Николи +. $\times 46$

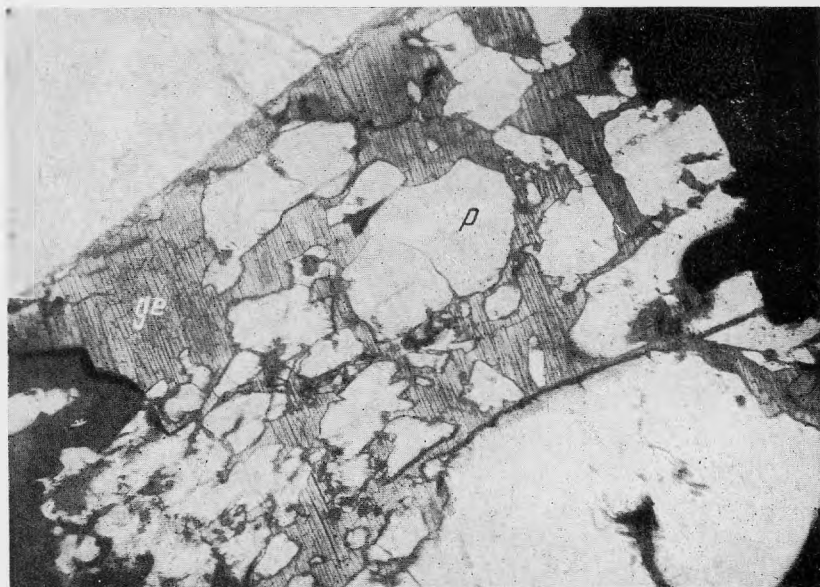


Рис. 14. Прожилки гейландита (*d*) в петалите (*P*). Николит, $\times 46$

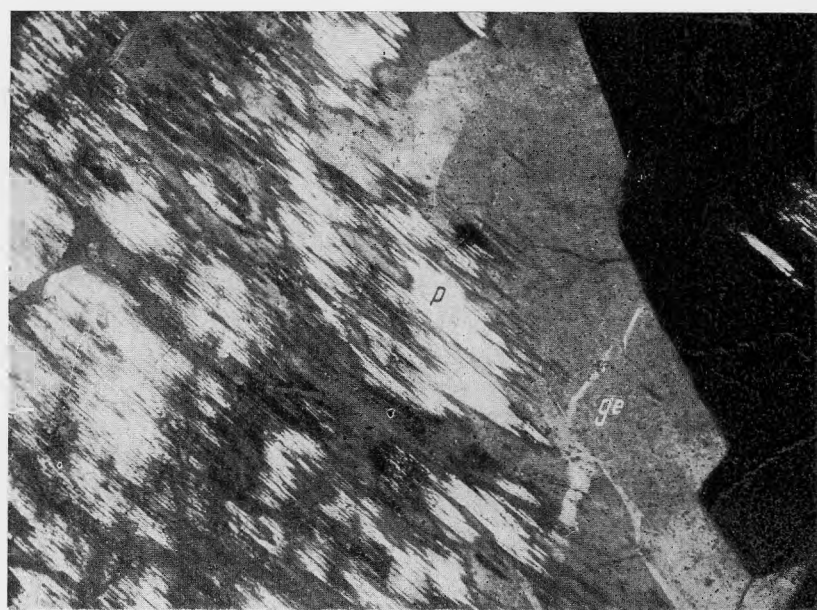


Рис. 15. Реликты петалита (*P*) в гейландите (*ge*). Николит, $\times 60$

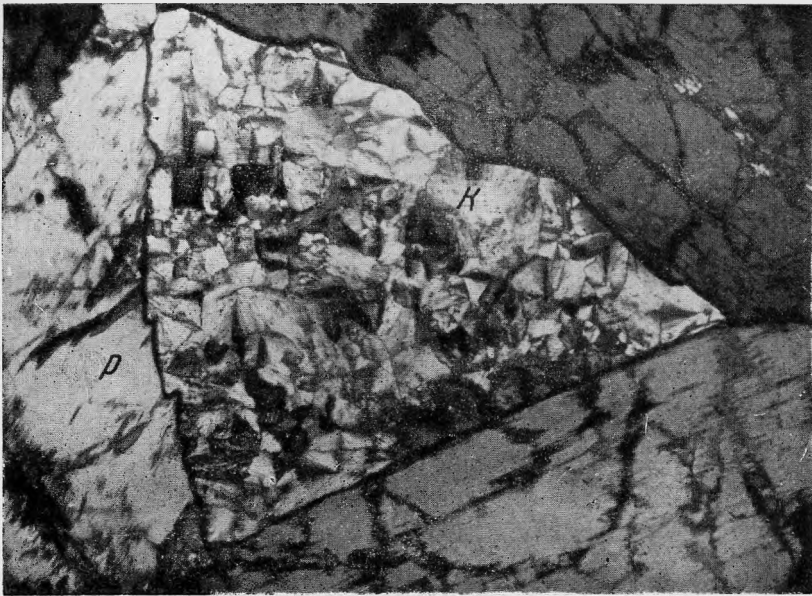


Рис. 16. Агрегат кунейта (К) между зернами гейландитизированного петалита (Р). Николы +. $\times 46$

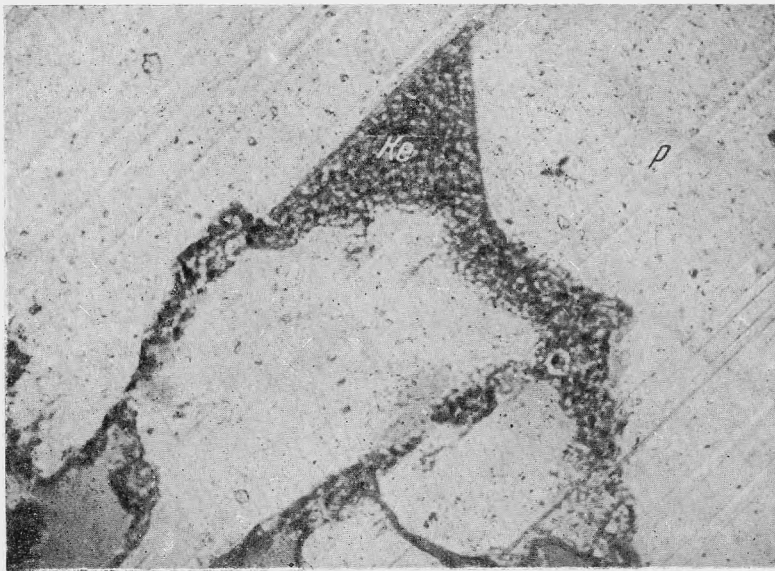


Рис. 17. Глинистый агрегат типа β -керолита (Кс), развивающегося по трещинам в петалите (Р). Николы параллельные. $\times 150$

и представлен агрегатом мельчайших волокон или сферолитов с низким двойным лучепреломлением (до 0,006—0,009). Волокнистый минерал связан постепенными переходами с изотропным веществом, и в различных шлифах можно наблюдать все переходы от изотропной массы, агрегативно поляризующей в отдельных точках, до агрегата волокон или сферолитов различного размера. Показатели преломления двупреломляющего минерала: $N_g = 1,490 \pm 0,002$; $N_p = 1,483 \pm 0,002$. Волокна — с прямым погасанием и положительным удлинением.

Спектральные анализы нескольких образцов этого вещества, произведенные Н. В. Лизуновым, показали наличие в нем Mg, Si, Al (очень сильные линии), в меньшем количестве Fe (линии от средних до сильных), Ca (очень слабые линии) и Mn, Na, Zr (следы); в некоторых образцах обнаружены ничтожные следы Ti, Cu, Sr, Ba.

На основании изложенного выше это — глинистый минерал типа β -керолита или монтмориллонита. Ниже для сравнения приведены оптические свойства β -керолита и некоторых разновидностей монтмориллонита, по данным И. И. Гинзбурга и И. А. Рукавишниковой (1951):

	N_p	N_g	$N_g - N_p$
Глинистый минерал, развивающийся по петалиту	1,483	1,490	0,007
β -керолит волокнистый	1,483—1,486	1,490—1,494	0,007—0,008
Монтмориллонит (Урал)	1,465—1,470	1,479—1,483	0,014—0,015

Судя по оптическим свойствам, минерал ближе всего подходит к β -керолиту. С β -керолитом его сближает также своеобразное строение: среди изотропной или, вернее, скрытокристаллической массы глинистого вещества, развивающегося по петалиту, появляются мельчайшие сферолиты, составляющие до 70—80% всего агрегата, иногда имеющие типично колломорфное строение. Двойное лучепреломление этих сферолитов колеблется в пределах от 0,002 до 0,010, в некоторых случаях центральная часть их почти изотропная и $N_g - N_p$ возрастает по мере перехода к периферии волокон. Такие сферолиты часто окаймлены концентрическими полосками с низким $N_g - N_p$, придающими сферолитам колломорфное строение. Иногда сферолиты окаймлены бурой лимонитоподобной полоской. Знак сферолита положительный. В указанном агрегате наряду со сферолитами встречаются отдельные волокна и корки волокнистого строения этого же минерала.

Необходимо указать, что керолит широко распространен в литиевых пегматитах месторождения Липовка, где он также развивается по петалиту.

В участках, где петалит почти нацело замещен и превращен в глиноподобный агрегат типа β -керолита, встречаются в значительных количествах два минерала: кварц и кукцит. Кварц образует неправильные, червеобразные выделения, располагающиеся группами, в пределах которых отдельные зерна имеют единую оптическую ориентировку. Такие червеобразные выделения часто сростаются друг с другом в хорошо образованные сростки кристаллов, которые отличаются некоторыми особенностями:

а) Внутри них часто сохраняются остатки глинистого агрегата типа β -керолита.

б) Каждый идиоморфный кристалл представляет собой сросток многих индивидов, весьма незначительно отличающихся по своей оптической ориентировке. Вследствие этого такие кристаллы отличаются

облачным погасанием, иногда имеют веерообразное и даже сферолитовое строение.

Разрезы, перпендикулярные к оптической оси, имеющие форму правильных шестиугольников, также отличаются облачным погасанием и иногда распадаются на отдельные сегменты, придающие им структуру песочных часов. На таких разрезах отчетливо наблюдается аномальная двусная фигура, при этом $2V$ доходит до 15° .

Вследствие сложного, агрегатного строения такие кристаллы кварца приобретают округлую чечевицеобразную форму.

в) Сrostки кристаллов кварца иногда развиваются в глинистом агрегате вдоль трещин (рис. 18) и явно растут в глинистом агрегате, т. е. являются метакристами.

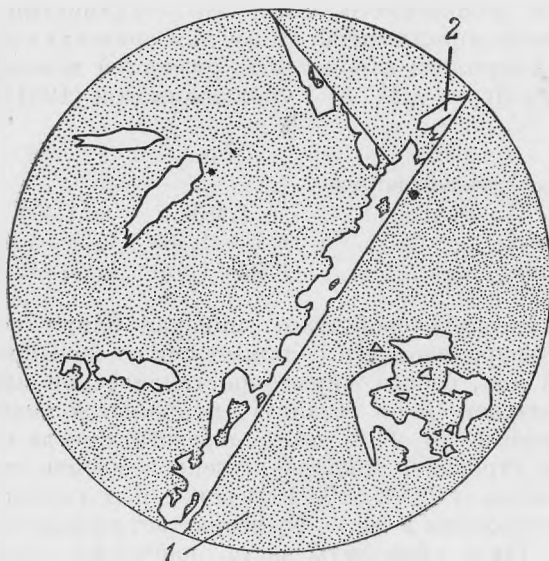
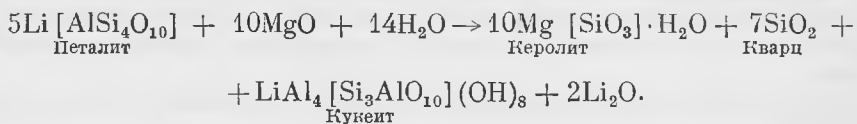


Рис. 18. Выделения кварца в глинистом агрегате типа β -керолита:

1 — глинистый агрегат типа β -керолита; 2 — кварц

Кукцит встречается в тесной ассоциации с описанными выше кристаллами кварца и образует столь характерные для него сферолиты, располагающиеся среди волокнистого и сферолитового агрегата β -керолита.

Образование по петалиту агрегата, состоящего, повидимому, из β -керолита, кварца и кукcita, связано с привнесом значительного количества MgO и H_2O и с выносом некоторого количества LiO_2 , что всегда наблюдается при изменении литиевых минералов. Схематически этот процесс может быть изображен в следующем виде:



По существу, процесс сводится к замещению группы $LiAl$ в петалите на $2Mg$ и к образованию вместо $Mg[Si_2O_5]$ керолита $Mg[SiO_3] \cdot H_2O$ и кварца SiO_2 .

3. По петалиту в поверхностных участках жил часто развивается розовый глинистый агрегат монтмориллонита.

В некоторых участках жил петалит почти нацело бывает превращен в монтмориллонит. Весьма любопытно, что в монтмориллонит переходят не только петалит, но и гейландит, а также агрегат β -керолита. В последнем случае резко возрастает $N_g - N_p$ волокон β -керолита, достигающее до 0,030, увеличиваются показатели преломления, и сферолитовый и волокнистый агрегат β -керолита переходит в типичный монтмориллонит.

Образование глин типа монтмориллонита по петалиту — явление обычное, много раз наблюдавшееся одним из авторов (Гинзбург, 1949) и неоднократно описанное в литературе. Следует только отметить, что если по сподумену в условиях гипергенеза весьма легко образуются глины типа каолинита, галлуазита и реже монтмориллонита, то по петалиту развивается преимущественно монтмориллонит.

ЛИТЕРАТУРА

- Гинзбург А. И. Процессы изменения сподумена. Зап. Минер. об-ва, вып. 4, 1944.
- Гинзбург А. И. Петалит в пегматитах Калбинского хребта и процессы его изменения. Труды Минер. музея АН СССР, вып. 1, 1949.
- Гинзбург И. И. и Рукавишникова И. А. Минералы древней коры выветривания Урала. Изд. АН СССР, 1951.
- Gossner B. u. Mussgnug F. Structural und Molecular unit of Petalite. Zeitschr. Krist., 74, 1930.
- Mikkola T. a. Wiik H. B. Petalite, a mineral new to Finland. Bull. de la comm. Géol. de Finlande, № 140, 1947.
- Nel H. J. Petalite and amblygonite from Karibib, Southwest Africa. Amer. Miner., 31, № 1—2, 1946.
- Quensel P. Petalite and its alteration product Montmorillonite. Geol. Fören Förhandl., 59, 2, 1937.
- Roy R., Roy D. M. a. Osborn E. F. Compositional and stability relationships among the lithium aluminosilicates: eucryptite, spodumene and petalite, Journ. of Amer. Ceramic Soc., 33, № 5, 1950.