

Е. И. СЕМЕНОВ

**ЛИТИЕВЫЕ И ДРУГИЕ СЛЮДЫ И ГИДРОСЛЮДЫ  
В ЩЕЛОЧНЫХ ПЕГМАТИТАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

При исследовании некоторых пегматитов Ловозерского и Хибинского массивов нефелиновых сиенитов (Кольский п-ов) нами был встречен и изучен целый ряд редких и интересных минералов группы слюд, в том числе литиевых. Таковы тайниолит, полилитионит, сподиофиллит, селадонит и другие, а также их гидратированные разновидности.

**1. ПОЛИЛИТИОНИТ**

Л. Л. Шилиным (1953) из пегматитов Ловозерского массива недавно был описан литионит — землистая скрытокристаллическая слюда, которую он рассматривает в качестве нового минерала из группы литиевых слюд. А. И. Гинзбург (1955), критикуя это положение, считает, что литионит аналогичен полилитиониту, известному в щелочных пегматитах Гренландии (Flink, 1900), а не является новым минералом. Наши данные подтверждают справедливость точки зрения А. И. Гинзбурга.

Полилитионит, но уже не скрытокристаллический, как у Л. Л. Шилина, а крупнокристаллический, был встречен нами в ряде пегматитов центральной части Ловозерского массива (район Сейдозера): на горах Непха, Куйвчорр, Нинчурт, Маннепахк. Обычно полилитионит образует в натролите тонкие чешуйки размером до 1 см. Иногда он находится в виде плотных мелкочешуйчатых выделений, образующих оторочки толщиной до 1,5 см вокруг кристаллов микроклина, а также прожилки мощностью до 1 см в микроклине и натролите. Встречаются псевдоморфозы полилитионита по натролиту размером до  $3 \times 1$  см. В некоторых пегматитах полилитионит образует сферолиты диаметром до 0,5 см («барботов глаз»). Часто встречаются также гексагональные кристаллы размером до  $3 \times 0,5$  см, центральная часть которых сложена тайниолитом, а краевая — полилитионитом (рис. 1).

Полилитионит обычно имеет белую окраску, однако иногда встречаются разновидности коричневатой, розовой, зеленоватой и голубоватой окраски. В тонких чешуйках полилитионит прозрачен. Твердость 3. Удельный вес 2,817 (определен гидростатическим взвешиванием). Оптически отрицательный, с малым углом оптических осей,  $n_g = n_m = 1,56$ ;  $n_p = 1,53$ . Рентгенометрически и химически нами исследовался полилитионит из краевой зоны крупных зональных кристаллов, в центре которых находится тайниолит.

## Межплоскостные расстояния, измеренные по дебаграммам полилитнионита и гидрополилитнионита

(условия съемки: Fe — излучение, d камеры 57,9 мм, d образца 0,6 мм)

Полилитнионит				Гидрополилитнионит		Полилитнионит				Гидрополилитнионит	
Г. Непха		Г. Карнасурт		Г. Карнасурт		Г. Непха		Г. Карнасурт		Г. Карнасурт	
I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
2	9,90	—	—	—	—	3	2,12	2	2,12	2	2,12
5	4,90	8	4,88	6	4,92	8	1,96	10	1,968	10	1,968
5	4,50	—	—	2	4,48	1	1,79	1	1,800	1	1,796
5	3,57	5	3,59	3	3,58	1	1,69	2	1,710	—	—
5	3,38	—	—	—	—	8	1,61	8	1,632	—	—
5	3,26	9	3,27	6	3,28	1	1,57	1	1,578	—	—
5	3,05	7	3,05	2	3,06	10	1,49	4	1,496	3	1,496
5	2,83	—	—	5	2,836	1	1,42	1	1,466	—	—
—	—	5	2,64	—	—	1	1,39	2	1,408	—	—
10	2,51	3	2,56	4	2,568	—	—	2	1,371	—	—
3	2,46	3	2,45	2	2,460	3	1,33	8	1,333	—	—
8	2,36	2	2,36	2	2,377	8	1,29	—	—	—	—
3	2,29	—	—	1	2,261	5	1,23	—	—	—	—
3	2,17	1	2,16	1	2,162	5	1,26	—	—	2	1,196

Межплоскостные расстояния, измеренные по дебаграмме этого полилитнионита, приведены в табл. 1. Для сравнения приведен также аналогичную ей дебаграмму скрытокристаллического полилитнионита («литвионита» Л. Л. Шилина) из пегматита г. Карнасурт. Рентгенометрические исследования слюд произведены в ИГЕМ АН СССР С. И. Берхин и Н. Н. Слудской.

По данным Хендрикса (Hendricks, 1939), гренландский полилитнионит принадлежит к однослойной моноклинной (1 М) модификации слюд.

Полилитнионит перед паяльной трубкой легко плавится (температура плавления около 1000°). На кривых нагревания полилитнионита (Шилин, 1953) отмечается эндотермическая остановка при 900°, обусловленная удалением фтора, гидроксильной воды и разложением минерала.

Результаты химических анализов полилитнионита приведены в табл. 2.

Спектральным анализом (А. С. Дудыкина) дополнительно обнаружено присутствие в полилитнионите Be, Cu, Nb (слабые линии), Ga (~0,03%), а рентгено-спектральным (И. Б. Боровский) — около 0,2% Rb.

В элементарной ячейке полиморфных модификаций слюд содержится различное количество молекул (2 — в однослойных, 4 — в двухслойных и т. д.), поэтому для получения сравнимых результатов мы будем приводить простейшие формулы. Пересчет результатов анализа полилитнионита (Ловозеро) (табл. 2, № 2) приводит к следующей формуле:

$(K_{1,02}Na_{0,33}Ca_{0,06})(Li_{0,98}Mg_{0,29}Fe_{0,05}Mn_{0,01}Al_{0,94})[Si_{3,97}Ti_{0,01}Al_{0,02}O_{10}](F_{1,18}OH_{0,82})$ .  
Учитывая, что в этом полилитнионите лития нехватает (до 2-х), а натрий находится в избытке, можно допускать, вслед за А. И. Гинзбургом (1953), что натрий здесь изоморфно замещает литий.

Таблица 2

## Результаты химических анализов полилитионита и гидрополилитионита

Компоненты	Полилитионит					Гидрополилитионит	
	1. Теоретич. состав	2. Г. Непха		3. Г. Карнасурт	4. Гренландия	5. Г. Карнасурт	
	вес. %	вес. %	ат. кол.	вес. %	вес. %	вес. %	ат. кол.
SiO <sub>2</sub>	61,60	59,46	0,994	59,93	59,25	57,44	0,956
TiO <sub>2</sub>	—	0,20	0,003	1,16	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,06	12,25	0,240	13,34	12,57	15,50	0,304
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	0,95	0,013	0,46	—	0,50	0,006
FeO	—	—	—	0,09	0,93	—	—
MnO	—	0,20	0,003	0,81	—	—	—
MgO	—	2,94	0,073	0,59	—	1,70	0,042
CaO	—	0,60	0,011	0,38	—	0,64	0,011
Li <sub>2</sub> O	7,68	3,66	0,244	6,01	9,04	5,16	0,346
Na <sub>2</sub> O	—	2,60	0,084	1,70	7,63	0,64	0,020
K <sub>2</sub> O	12,02	12,00	0,244	10,29	5,37	8,79	0,186
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup>	—	1,50	0,156	1,16	—	4,28	—
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	—	0,40	—	0,42	—	3,68	0,888
F	9,72	5,60	0,295	5,65	7,32	1,04	0,055
Прочие	—	—	—	0,27	—	0,43	—
Сумма	104,08	102,36	—	102,26	102,11	99,80	—
-0 = F <sub>2</sub>	4,08	2,35	—	2,39	3,08	0,43	—
—	100,00	100,01	—	99,87	99,03	99,37	—
Аналитик	—	В. А. Молева	—	Е. С. Шишова	Лоренцен	Л. А. Булаева	
Автор	—	—	—	Л. Л. Шилин, 1953	Г. Флинк, 1900	Л. Л. Шилин, 1953	

Прочие: 2 — P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,20    Cl 0,07;    4 — SO<sub>3</sub> 0,34,    P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,09

Общая формула полилитионита, к которой наиболее близки анализы минерала с горы Карнасурт и из Гренландии —  $KLi_2Al(Si_4O_{10})F_2$ .

Полилитионит является характерным литиевым минералом пегматитов нефелиновых сиенитов, наиболее обогащенным литием. До сих пор полилитионит встречается только в Гренландии и на Кольском п-ове (Ловозеро). В Хибинском массиве на горе Маннепахк Э. М. Бонштедт-Куплетской (Ферман, 1937) встречены незначительные выделения литиевой слюды, макроскопически определенной как тайниолит. Однако, судя по розовой окраске слюды, возможно, что она является не тайниолитом, а полилитионитом. Э. М. Бонштедт-Куплетской были переданы нам для изучения образцы слюды из пегматитов Лопарского перевала (Хибины). Эта слюда белого и розового цвета, состоит, судя по спектральному анализу, главным образом, из лития, алюминия, калия, кремния и содержит лишь незначительные количества магния. Таким образом, и в пегматитах Лопарского перевала встречается полилитионит.

Этот минерал образуется в пегматитах нефелиновых сиенитов на поздних стадиях процесса, обычно в гидротермальных условиях (особенно скрытокристаллические разновидности). Часто полилитионит образуется метасоматическим путем, замещая микроклин, натролит и тайниолит.

В поверхностных условиях полилитионит часто оказывается неустойчивым. Особенно неустойчивыми являются скрытокристаллические разновидности минерала, почти всегда в той или иной степени измененные. При



Рис. 1. Зональный кристалл литиевых слюдов в мелкозернистом апатите (в краевой зоне — полилитионит, в центральной — тайниолит)

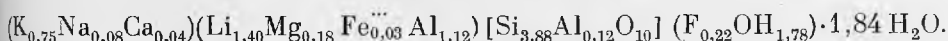
остановка в интервале 65—140°. Как показывает кривая обезвоживания (рис. 3), полученная в лаборатории К. М. Феодотьева, эта остановка обусловлена удалением воды, имеющей низкотемпературный характер. Таким образом, при температурах до 150° удаляется около половины всей содержащейся в веществе воды. Другая половина воды, имеющая высокотемпературный характер, удаляется при температурах около 850°. Этому отвечает характерная для первичного минерала — полилитионита — эндотермическая остановка в интервале 820—870°.

Продукты изменения полилитионита легко окрашиваются бензидином в фиолетово-синий цвет. Под электронным микроскопом они имеют форму чешуек с полупрозрачными расплывчатыми краями. Состав продуктов изменения полилитионита можно показать на примере анализа образца № 5 («литионита» Л. Л. Шилина). Из сравнения этого анализа с анализами типичных полилитионитов видно, что он представляет собой анализ не свежего, а сильно измененного полилитионита. Эндотермическая остановка при 100—130° на его кривой нагревания обусловлена не наличием примесей монтмориллонита, как это считает Л. Л. Шилин (1953), а именно измененностью минерала (содержанием в нем низкотемпературной воды).

выветривании полилитионит образуются белые и коричневатые землистые массы. Удельный вес, показатель преломления и двупреломление у продуктов изменения полилитионита значительно ниже, чем у первичного минерала. Так, изученными нами продукты изменения полилитионита из пегматитов горы Карнасурт, представляющие собой коричневатобелую землистую массу, имеют  $N_g \approx 1,515$ ;  $N_p \approx 1,510$  и удельный вес 2,50. Дебаграмма этих продуктов изменения (табл. 1) аналогична эталонной дебаграмме полилитионита, но характеризуется меньшим количеством линий, к тому же менее отчетливых.

На кривой нагревания продуктов изменения полилитионита (рис. 2), полученной в лаборатории А. И. Цветкова, характерна резко выраженная эндотермическая

Структурная формула измененного полилитнионита:



Сравнение формул и результатов анализов полилитнионита и продуктов его изменения показывает, что при выветривании полилитнионита происходит существенный (в 2—5 раз) вынос калия, фтора и увеличение

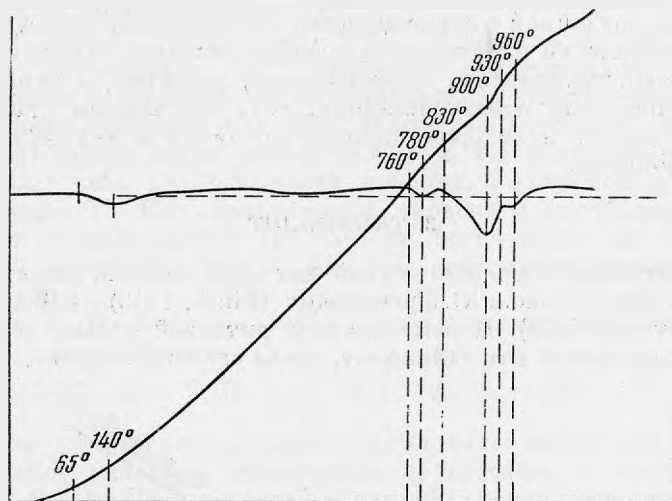
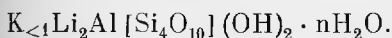


Рис. 2. Кривая нагревания гидрополилитнионита

содержания низкотемпературной воды. Компенсация выноса калия осуществляется, вероятно, за счет вхождения в решетку слюды гидроксония ( $H_3O$ ). Имеющиеся сейчас в большом количестве химические анализы полилитнионита, в разной степени измененного, свидетельствуют о том, что изменение минерала происходит постепенно, стадийно: постепенно увеличивается содержание воды, понижаются содержание калия, фтора, удельный вес, показатели преломления. Все это показывает, что изменение полилитнионита происходит таким же образом, как и изменение мусковита, биотита и других слюд, когда образуются гидромусковит, гидробиотит и др. Это дает нам основание выделить продукты изменения полилитнионита в качестве нового минерала группы гидрослюд — гидрополилитнионита



Наличие гидрополилитнионита позволяет говорить о гидролепидолитах как продуктах стадийного изменения минералов группы лепидолита. Состав гидролепидолита и соотношение в нем Li, Al и Si будет зависеть от состава первичного минерала и от степени его изменения. По-видимому, вообще каждому типу слюд соответствует свой тип гидрослюд.

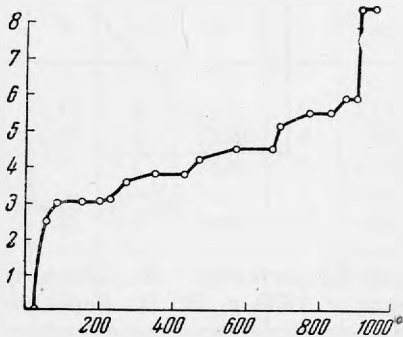


Рис. 3. Кривая обезвоживания гидрополилитнионита

При более полном изменении полилитнионита, когда выщелачиваются не только калий и фтор, но и литий, гидрполилитнионит переходит в минералы группы монтмориллонита. Так, на кривой нагревания одного из продуктов выветривания полилитнионита, кроме главной эндотермической остановки в интервале  $100-160^{\circ}$ , обнаруживается дополнительная остановка при  $210-239^{\circ}$ . Эта остановка характерна для минералов группы монтмориллонита, у которых она обусловлена удержанием воды, связанной с поглощенными основаниями. Иногда в пегматитах макроскопически отмечается и непосредственное замещение полилитнионита монтмориллонитом, происходящее, вероятно, в эпитермальных условиях. Подобный монтмориллонит, судя по данным спектрального анализа, содержит некоторое количество лития и является литиевым монтмориллонитом.

## 2. ТАЙНИОЛИТ

Тайниолит является очень редкой литиевой слюдой, известной, кроме Кольского п-ова, только в Ю. Гренландии (Flink, 1900) и США (Арканзас, Miser a. Stevens, 1938). Первые находки литиевой слюды в Хибинском массиве, определенной как тайниолит, были сделаны в 1926 г. Э. М. Бо

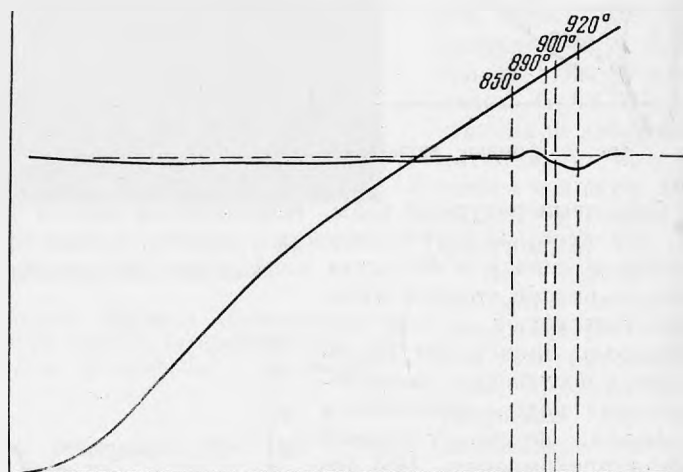


Рис. 4. Кривая нагревания тайниолита

штедт-Куплетской. В Ловозерском массиве тайниолит был обнаружен в 1939 г. В. И. Герасимовским в пегматите горы Пункаруай. Однако количество материала было настолько мало, что произвести сколько-нибудь детальное исследование тайниолита не оказалось возможным.

Скопления тайниолита были обнаружены нами в 1950 г. в центральной части Ловозерского массива, на горе Непха. Впоследствии тайниолит был встречен также в пегматитах гор Куйвчорр, Маннепахк, Нинчурт.

Гексагональные пластинчатые выделения тайниолита размером  $3,5 \times 0,5$  см часто встречаются в одном из пегматитов г. Непха в ассоциации с шизолитом и апатитом. Иногда тайниолит образует тройники прорастания по слюдяному закону, а на гранях отмечаются фигуры спирального роста. Крупные кристаллы тайниолита обычно имеют зональное строение, причем насчитывается (особенно, под микроскопом) большое коли-

чество (3—10) концентрично расположенных шестиугольных зон мощностью от долей мм до 3 мм. Зоны эти различаются между собой интенсивностью коричневой окраски; темные зоны чередуются с более светлыми. Границы между зонами очень четкие. В краевых частях зональных кристаллов тайниолита часто находится, как уже указывалось выше, оторочка (или зона) полилитионита (фиг. 1). Таким образом, мы имеем здесь зональность двух типов: 1) разноокрашенных участков тайниолита и 2) тайниолита и полилитионита.

Тайниолит имеет удельный вес 2,821. Твердость 3. Перед паяльной трубкой оплавляется ( $t^\circ$  плавления синтетического минерала  $1185^\circ$ ). На кривой нагревания тайниолита (рис. 4) отмечается эндотермическая остановка в интервале  $900-920^\circ$ . Оптически двуосный, отрицательный, но с очень малым углом оптических осей. На федоровском столике он обычно ведет себя как одноосный минерал. В коноскопе удается измерить  $2V$  около  $5^\circ$ . Под микроскопом окраска и плеохроизм слабые. Плеохроирует от желтоватого (по Ng) до бесцветного по (Np).  $Ng \approx Nm \approx 1,570$ ,  $Np = 1,540$ ,  $NgNp \parallel (010)$ . Дебаеграмма тайниолита приведена в табл. 3.

По данным Е. Н. Беловой (1955), синтетический тайниолит является однослойным, моноклинным.

$$a_0 = 5,27, \quad c_0 = 9,43, \quad c_0 = 10,12 \text{ \AA}, \quad \beta = 100^\circ \pm 15'$$

Результаты химических анализов тайниолита приведены в табл. 4.

Спектральным анализом обнаружено присутствие в тайниолите из Ловозера Са, Ва, Вс, Nb, Ga (слабые линии), а рентгеноспектральным — 0,3% Rb.

Таблица 3

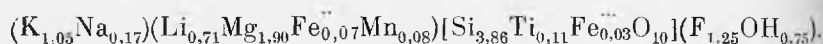
Межплоскостные расстояния, измеренные по дебаеграммам тайниолита и спидиофиллита

Тайниолит, Ловозеро, СССР		Спидиофиллит				Тайниолит, Ловозеро, СССР		Спидиофиллит			
		Ю. Гренландия		Ловозеро, СССР				Ю. Гренландия		Ловозеро, СССР	
l	d	l	d	l	d	l	d	l	d	l	d
—	—	5	11,14	—	—	1	2,14	3	2,14	4	2,14
5	9,81	7	9,94	8	10,09	10	1,99	4	1,999	8	1,966
5	5,01	4	4,98	1	5,06	—	—	1	1,829	2	1,837
5	4,50	4	4,52	2	4,59	—	—	—	—	1	1,74
—	—	1	4,34	—	—	5	1,65	3	1,654	7	1,659
—	—	1	3,89	—	—	—	—	—	—	1	1,633
5	3,65	5	3,61	7	3,65	—	—	—	—	1	1,603
4	3,46	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1,576
8	3,33	9	3,33	9	3,32	8	1,501	2	1,509	8	1,520
—	—	5	3,11	4	3,129	1	1,433	—	—	1	1,424
1	2,88	4	2,89	7	2,882	1	1,346	1	1,350	3	1,353
—	—	1	2,68	—	—	5	1,303	1	1,303	2	1,314
7	2,595	5	2,57	8	2,603	—	—	—	—	2	1,288
—	—	—	—	2	2,511	3	1,245	1	1,247	1	1,253
4	2,37	5	2,39	7	2,405	1	1,203	—	—	1	1,211
1	2,25	1	2,25	2	2,279	—	—	—	—	2	1,122
1	2,20	1	2,21	—	—	—	—	—	—	—	—

Результаты химических анализов тайниолита

Компоненты	Теоретич. состав	г. Непха, Ловозеро, СССР		Нарсарсун, Ю. Гренландия	Арктика, СССР
	вес. %	вес. %	ат. кол.	вес. %	вес.
SiO <sub>2</sub>	59,40	52,88	0,881	52,2	58,2
TiO <sub>2</sub>	—	2,00	0,025	—	0,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	сл.	—	2,7	1,1
FeO	—	1,89	0,026	0,6	0,7
MnO	—	1,38	0,019	—	—
MgO	19,90	17,42	0,432	19,1	19,4
Li <sub>2</sub> O	3,70	2,44	0,162	3,8	3,1
Na <sub>2</sub> O	—	1,22	0,038	1,8	0,6
K <sub>2</sub> O	11,60	11,38	0,242	11,5	10,4
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup>	—	4,24	} 0,692	} 8,7	0,2
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	—	2,00			0,6
F	9,45	5,36	0,282		8,7
Сумма	104,05	102,21		100,4	103,4
—O=F <sub>2</sub>	4,05	2,25			3,7
	100,00	99,96			100,0
Аналитик	—	В. А. Молева		Мауцелиус	Стивенс
Автор				Г. Флинк, 1900	Г. Миллер, 1938

Пересчет результатов анализа № 2 приводит к формуле:



Недостаток лития и избыток натрия, как и в случае полилитионита, вероятно, обусловлен изоморфизмом этих элементов. Для тайниолита Ловозера характерно высокое содержание титана (2% TiO<sub>2</sub>). Недостаток кремния в тайниолите позволяет думать, что титан находится здесь тетраэдрической координации.

Ловозерский тайниолит содержит значительные количества железа (1,89% FeO) и марганца (1,38% MnO). Но эти содержания могут быть, по видимому, значительно выше. Так, в одном из образцов темно-коричневого тайниолита из пегматита горы Непха частным химическим определением установлено содержание 5,03% FeO. Эта разность представляет собой, по видимому, ферротайниолит. Она характеризуется повышенными показателями преломления (Ng~1,58) и более интенсивным плеохроизмом.

Тайниолит — характерная литиевая слюда пегматитов нефелиновых сиенитов. Он обычно встречается в центральной зоне пегматитов, образуясь на поздних этапах пегматитового процесса. Тайниолит является более ранним минералом, чем полилитионит, и часто замещается им. Иногда тайниолит замещает Mg-арфведсонит.



В поверхностных условиях тайниолит неустойчив и, подобно другим слюдам, превращается в минерал из группы гидрослюд, который, в случае более полного его исследования, можно было бы назвать гидротайниолитом.

Из-за недостатка материала детального изучения этого минерала не производилось. Он обычно наблюдается в виде сероватых чешуек, образующихся по краям выделений тайниолита. Минерал характеризуется мягкостью, отсутствием блеска, меньшими значениями показателей преломления ( $n_g \sim 1,55$ ) и, вероятно, удельного веса.

Химические анализы даже слабо измененного тайниолита (табл. 4) показывают существенный избыток воды. По-видимому, при выветривании тайниолита происходит вынос щелочей (прежде всего, калия) и интенсивная гидратация. При более интенсивном выветривании тайниолита возможно выносятся и литий, причем образуются минералы группы монтмориллонита. Нами отмечалось замещение (эпитермальное?) тайниолита магниевым монтмориллонитом — сапонитом. Как показывают спектральные анализы, этот сапонит обогащен литием (средние линии) и представляет собой, по-видимому, литиевый сапонит-гекторит.

### 3. СПОДИОФИЛЛИТ

В 1900 г. Г. Флинк (Flink, 1900) описал из щелочных пегматитов Ю. Гренландии новый минерал — сподиофиллит.

Сподиофиллит образует гексагональные кристаллы серого цвета размером до 1 см. Спайность совершенная по базису. Твердость 3. Удельный вес 2,633. Оптически одноосный, отрицательный.

Результаты неполного химического анализа сподиофиллита приведены в табл. 5. Г. Флинк считал минерал близким к хлоритам, но отмечал отсутствие воды.

В последующие годы сподиофиллит, вследствие неполноты данных о нем, был признан минералом сомнительным и в минералогические справочники не включался.

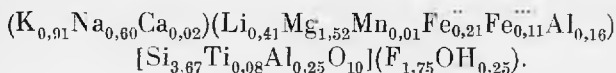
Минерал, сходный со сподиофиллитом, был встречен нами в пегматитах Ловозерского массива (на г. Маннепахк). Заинтересовавшись этим минералом, мы попытались получить образцы гренландского сподиофиллита. Эти образцы из коллекции Г. Флинка в Копенгагенском университете (Дания) были пересланы нам благодаря любезному содействию проф. Арве Ное-Нюгаарда.

Дебаграммы гренландского и ловозерского сподиофиллита (табл. 3) оказались тождественными. Оптически минерал из обоих образцов почти одноосен.  $n_g \approx n_m \approx 1,580$ ,  $n_p \approx 1,550$ . Результаты их новых полных химических анализов приведены в табл. 5. Дополнительно в сподиофиллите установлено присутствие Rb, Nb, Ga (слабые линии).

Как показывают рентгенометрические, оптические и химические исследования, сподиофиллит несомненно относится к минералам группы слюд, а не хлоритов. Наиболее близок сподиофиллит к тайниолиту и флогопиту. Первоначальный образец сподиофилита Г. Флинка характеризовался высоким содержанием железа.

Пересчет анализов сподиофиллита на структурную формулу слюд приводит к следующим результатам (табл. 5).

№ 2, Гренландия:

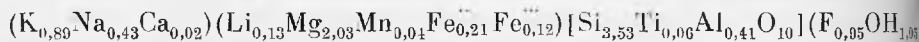


Таблица

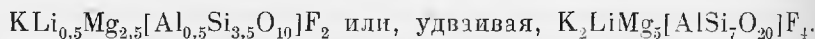
## Результаты химических анализов сподиофиллита

Компоненты	Нарсарсук, Ю. Гренландия			Ловозеро, СССР	
	№ 1	№ 2		№ 3	
	вес. %	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.
SiO <sub>2</sub>	53,61	52,30	0,872	49,20	0,819
TiO <sub>2</sub>	—	1,50	0,019	1,14	0,014
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,27	5,00	0,098	4,84	0,095
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,24	2,10	0,026	2,35	0,028
FeO	4,13	3,70	0,051	3,51	0,049
MnO	0,64	0,13	0,002	0,60	0,009
MgO	10,16	14,50	0,360	19,04	0,472
CaO	—	0,20	0,004	0,32	0,005
Li <sub>2</sub> O	—	1,45	0,194	0,47	0,031
Na <sub>2</sub> O	8,55	4,50	0,290	3,11	0,101
K <sub>2</sub> O	7,80	10,20	0,434	9,70	0,206
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup>	—	—	—	2,06	} 0,206
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	—	—	—	0,60	
F	—	7,90	0,416	4,20	0,221
Сумма	100,40	103,48		101,14	
—O=F <sub>2</sub>		3,52		1,77	
		99,96		99,37	
Аналитик	Г. Флинк,	А. В. Быкова			
Автор	Г. Флинк, 1900				

№ 3, Ловозеро:



Общая формула сподиофиллита:



Сподиофиллит — редкий минерал щелочных пегматитов, образующийся на поздних стадиях их развития. Он ассоциируется с эгирином, натролитом, апатитом и др. В гипергенных условиях сподиофиллит неустойчив, однако хорошо индивидуализированных продуктов изменения сподиофиллита не встречено.

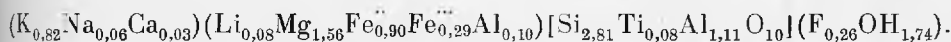
## 4. БИОТИТ И ЛЕПИДОМЕЛАН

Биотит и лепидомелан — наиболее широко распространенные слюды щелочных пегматитов. Первый минерал встречается преимущественно в Ловозерском массиве, второй — в Хибинском. Однако в пегматите горы

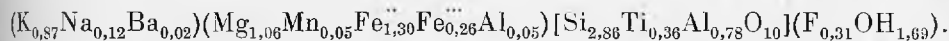
Поачвумчорр в Хибинах нами был встречен и биотит. Этот биотит образует в пустотах друз альбита необычные скрытокристаллические землистые светло-коричневые выделения размером до 1 см. Отдельные его чешуйки различимы в этом землистом агрегате лишь при больших увеличениях под микроскопом. В ловозерских пегматитах (горы Куйвчорр, Нинчурт) биотит обычно находится в виде гексагональных пластинчатых (иногда столбчатых) кристаллов размером до 1 см. Биотит оптически двуосный, отрицательный,  $2V = 10-20^\circ$ ,  $Ng \approx Nm = 1,61$ ,  $Np = 1,57$ . Плеохроизм  $Ng > Np$ . На кривой нагревания биотита отмечается, как обычно, эндотермическая остановка около  $1100^\circ$ .

В хибинских пегматитах (на горах Кукисвумчорр, Юкспор и др.) часто встречаются пластинчатые выделения темно-коричневого, почти черного лепидомелана размером до 20 см. Лепидомелан оптически двуосный, отрицательный,  $2V = 20-30^\circ$ ,  $Ng \approx Nm = 1,68$ ,  $Np = 1,62$ ; резко плеохроирует от темно-бурого (по Ng) до желтого (по Np). Дебаграммы биотита и лепидомелана приведены в табл. 6, а результаты их химических анализов — в табл. 7. Пересчеты анализов приводят к следующим структурным формулам:

Биотит (образец № 1):



Лепидомелан (образец № 2):

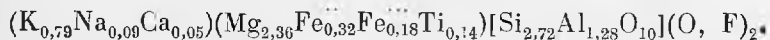


Состав биотита приближается к формуле  $K(Mg_2Fe)[AlSi_3O_{10}]F_2$ , а лепидомелана —  $K(Fe_2Mg)[AlSi_3O_{10}]F_2$ . В первом магний преобладает над железом, во втором — железо над магнием.

Характерным элементом магнезиально-железистых слюд является литий. Это обусловлено изоморфизмом в ряду Fe-тайниолит—Fe-флогопит.

Так, литий отмечен в лепидомелане щелочных пегматитов Норвегии (до 0,5%). В биотите горы Поачвумчорр содержится 0,27%  $Li_2O$  (табл. 7). Присутствие лития отмечается спектральным анализом во многих магнезиально-железистых слюдах различных районов.

Минералы группы биотита известны на Кольском полуострове не только в нефелин-сиенитовых пегматитах, но и в пегматитах щелочных ультраосновных пород (Африканда) и щелочных гранитов Кейв. В пегматитах и породах Африканды широко распространен светло-коричневый крупнопластинчатый флогопит, содержащий лишь небольшое количество железа (до 8%). Формула этого флогопита (обр. № 5)



Пегматиты щелочных гранитов Кейв обогащены черным пластинчатым лепидомеланом, являющимся слюдой почти чисто железистой (табл. 7, обр. № 4).

Для флогопита Африканды и лепидомелана Кейв, как и для слюд нефелин-сиенитовых пегматитов, характерно высокое содержание титана (2—3%  $TiO_2$ ). В лепидомелане титан, по-видимому, находится в тетраэдрической координации. Что касается флогопита, то здесь, при недостатке магния и избытке алюминия, наиболее вероятно нахождение титана в октаэдрической координации и изоморфизм по схеме  $TiO_2 \rightarrow MgF_2$ .

Таблица

## Межплоскостные расстояния, измеренные по дебаграммам минералов группы астрофиллита и биотита

Куплетекит, Ловозеро, № 1		Астрофиллит, Хибиньы, № 2		Астрофиллит, Кейвы, № 3		Гидролепидомелан, Хибиньы, № 4		Лепидомелан, Кейвы, № 5		Биотит, Хибиньы, № 6	
I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
—	—	3	4,25	—	—	3	4,61	—	—	—	—
—	—	6	3,90	—	—	—	—	—	—	7	3,66
—	—	1	3,53	—	—	—	—	—	—	3	3,44
6	3,50	10	3,39	3	3,463	4	3,33	5	3,337	10	3,28
—	—	5	3,10	3	3,304	2	2,92	2	2,904	8	2,87
—	—	3	2,89	—	—	—	—	—	—	2	2,67
4	2,77	5	2,76	—	—	10	2,64	4	2,620	7	2,61
2	2,64	2	2,64	—	—	—	—	—	—	—	—
4	2,57	9	2,57	2	2,590	8	2,45	2	2,498	5	2,43
1	2,48	2	2,46	—	—	—	—	3	2,437	8	2,40
—	—	1	2,37	—	—	—	—	—	—	—	—
2	2,29	5	2,28	1	2,252	1	2,19	3	2,168	4	2,15
1	2,23	3	2,20	—	—	—	—	—	—	—	—
2	2,10	4	2,06	1	2,071	—	—	4	2,007	8	1,98
—	—	2	1,914	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1	1,805	2	1,798	—	—	—	—	—	—
4	1,757	7	1,734	1	1,750	—	—	—	—	—	—
—	—	3	1,707	—	—	1	1,682	5	1,676	8	1,657
1	1,655	4	1,659	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	3	1,592	—	—	—	—	—	—	—	—
3	1,579	3	1,560	1	1,555	8	1,547	5	1,541	9	1,52
—	—	2	1,527	1	1,528	—	—	—	—	—	—
—	—	1	1,497	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	8	1,409	1	1,416	—	—	—	—	—	—
—	—	1	1,377	1	1,361	—	—	4	1,365	8	1,35
—	—	3	1,339	—	—	—	—	1	1,331	—	—
—	—	2	1,305	—	—	—	—	—	—	2	1,290
—	—	2	1,277	—	—	—	—	—	—	3	1,24

Таблица

## Результаты химических анализов минералов группы биотита

Компоненты	1. Биотит		2. Лепидомелан		3. Гидролепидомелан		4. Лепидомелан, Кейвы, г. Манзабаг вес. %	5. Флюопит, Африканда вес. %
	г. Поачвумчорр		г. Кувисвумчорр		г. Юкспор			
	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.		
SiO <sub>2</sub>	37,13	0,622	36,53	0,609	34,28	0,571	34,32	37,42
TiO <sub>2</sub>	1,43	0,018	6,09	0,076	2,08	0,026	2,10	2,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,63	0,268	8,99	0,176	9,61	0,188	11,45	14,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,41	0,064	4,41	0,056	32,77	0,410	14,66	3,48
FeO	14,23	0,198	19,91	0,277	2,90	0,040	21,37	5,25
MnO	—	—	0,75	0,010	4,86	0,068	0,16	0,08

Таблица 7 (продолжение)

Компоненты	1. Биотит		2. Лепидомелан		3. Гидролепидомелан		4. Лепидомелан, Кейвы, г. Макзабан вес. %	5. Флогопит, Африканда вес. %
	г. Поачвумчорр		г. Куписвумчорр		г. Юкспор			
	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.		
MgO	13,77	0,342	9,03	0,224	2,02	0,050	0,73	22,17
BaO	—	—	0,58	0,004	—	—	0,07	—
CaO	0,40	0,007	—	—	0,61	0,011	0,36	0,70
Na <sub>2</sub> O	0,41	0,013	0,83	0,026	1,67	0,054	0,35	0,61
K <sub>2</sub> O	8,50	0,181	8,98	0,186	4,84	0,102	7,76	8,55
Li <sub>2</sub> O	0,27	0,018	—	—	—	—	0,34	—
F	1,10	0,058	1,26	0,066	—	—	—	0,37
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup>	3,21	} 0,393	3,30	}	3,90	}	1,25	3,86
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	0,33						0,73	2,55
Сумма	99,52		100,66		99,54			102,67
-O=F <sub>2</sub>	0,46		0,55		—			0,15
	99,06		100,11		—			102,52
Анали- тик	П. Н. Ниссен- баум		В. Егоров		Т. А. Бурова		Т. А. Капи- тонова	
Автор	Б. В. Иванов, 1937					—	П. Н. Чирвин- ский и др., 1940	

Для минералов группы биотита весьма характерно образование их метасоматическим путем, при замещении амфиболов и пироксенов (арфведсонита, эгирина). При гидротермальном изменении биотита иногда образуются хлориты (пегматит горы Куивчорр).

Широко распространены в щелочных ультраосновных массивах (Африканда и др.) процессы изменения флогопита в вермикулит. В Хибинском массиве интересны продукты стадийного изменения лепидомелана, которые можно назвать гидролепидомеланом.

Гидролепидомелан, замещающий темно-коричневый, почти черный лепидомелан, представляет собой золотисто-желтое или зеленовато-бурое мелкочешуйчатое слюдистое вещество. Оно вспучивается на огне

при прибавлении перекиси водорода. Показатели преломления гидроле-

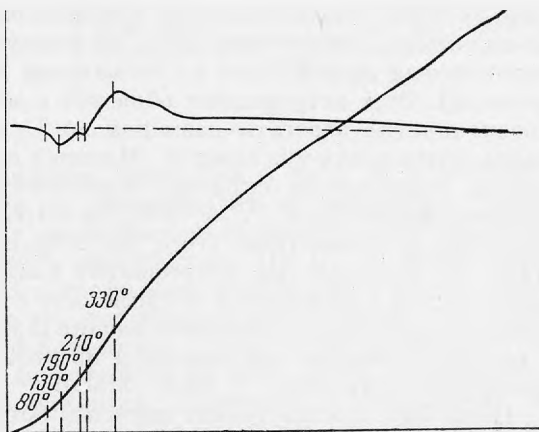


Рис. 5. Кривая нагрева гидролепидомелана

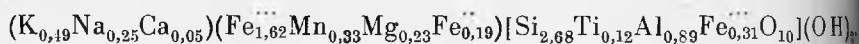
пидомелана обычно выше, чем у первичного минерала, а двупреломление ниже. Плеохроизм ослаблен.

Б. В. Иванов (1937) приводит для измененного хибинского лепидомелана показатели преломления 1,698—1,730.

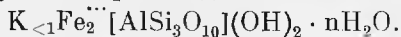
Изученный нами гидролепидомелан из пегматитов гор Вантомньюн, Кисвумчорр имеет  $N_g \approx 1,71$ —1,72. На кривой нагревания гидролепидомелана (рис. 5) характерно наличие эндотермической остановки в интервале 80—210°, обусловленной удалением низкотемпературной воды. Сразу после этой остановки следует экзотермический эффект (при 330°), связанный с окислением оставшегося еще в минерале двухвалентного железа.

Дебаеграмма гидролепидомелана (табл. 6) характеризуется малым количеством линий, притом расплывчатых. Однако она достаточно типична для минерала группы слюд. Результаты химического анализа минерала приведены в табл. 7.

Как показывает сравнение анализов лепидомелана и гидролепидомелана, в последнем минерале содержится значительно меньше щелочного фтора и больше воды. Почти все железо в гидролепидомелане является в отличие от первичного минерала, трехвалентным. Пересчет результатов анализа гидролепидомелана приводит к следующим соотношениям



Теоретической формулой гидролепидомелана можно считать следующую



### 5. АСТРОФИЛЛИТ

К минералам группы слюд, по-видимому, относится или близок к нему астрофиллит. Этот минерал пользуется широким распространением в пегматитах и пегматитах Хибин. Его марганцевый аналог — куплетский — встречается в ряде пегматитов Ловозерского массива.

Обычно астрофиллит образует пластинчатые выделения с совершенной слюдистой спайностью. Направление спайности принято в астрофиллите за (100), однако в случае принадлежности минерала к слюдам по-видимому, должно быть (001). Нами изучен несколько необычный тонковолокнистый астрофиллит из пегматитов Хибин (горы Куэльпор, Кувумчорр). Этот астрофиллит образует в микроклине и натролите спутанноволокнистые агрегаты размером до 3 см. Толщина отдельных волокон равна сотым долям миллиметра. Минерал имеет необычную светло-желтую, иногда зеленоватую окраску. Удельный вес — 3,06. Оптически двуосный, положительный;  $2V = +65^\circ$ ,  $N_g \approx 1,72$ ,  $N_p \approx 1,67$ ; плеохроизм от желтого ( $N_p$ ) до бесцветного ( $N_g$ ),  $N_p > N_g$ , с  $N_g = 2^\circ$ . По своей дебаеграмме (табл. 6) волокнистый астрофиллит аналогичен обычному. По химическому составу волокнистый астрофиллит с горы Куэльпор отличается необычно высоким содержанием магния (6,39% MgO), титана (17,22% TiO<sub>2</sub>) и необычно низким для минерала из нефелин-сиенитовых пегматитов содержанием марганца (1,84% MnO).

Нами был дополнительно изучен и астрофиллит из пегматитов щелочных гранитов Зап. Кейв (Ровгора). Впервые в Кейвах астрофиллит был установлен на горе Урма-Варака Б. М. Куплетским (1929 г.).

В пегматите Ровгоры астрофиллит образует в кварце розетки коричнево-красных крупноигльчатых кристаллов размером до 5 см. Удельный вес 3,11. Минерал оптически двуосный, положительный.  $2V = +70^\circ$ ,  $N_g \approx 1,70$ ,  $N_p \approx 1,70$ ; плеохроизм от коричневого ( $N_p$ ) до светло-желтого ( $N_g$ );  $N_p > N_g$ .

Таблица 8

## Результаты химических анализов минералов группы астрофиллита

Компо- ненты	Астрофиллит				Куплетский
	Хибины	Кейвы		Хибины	Ловозеро
	Куэльпор	Ровгора	Урма-Варана	Юкспор	Куйвчорр
SiO <sub>2</sub>	39,00	39,05	44,87	34,78	32,60
TiO <sub>2</sub>	9,73	9,36	10,36	11,86	12,04
ZrO <sub>2</sub>	—	—	—	0,57	1,19
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,71	—	—	—	0,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,26	4,27	—	0,60	1,68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,39	12,08	34,23	2,76	5,44
FeO	21,91	20,21	—	26,71	—
MnO	4,96	1,22	1,38	6,65	27,65
MgO	2,83	0,92	—	1,54	2,98
BaO	—	—	—	0,15	—
CaO	2,33	1,53	2,12	1,66	3,60
Na <sub>2</sub> O	4,10	1,42	2,16	3,00	2,14
K <sub>2</sub> O	6,35	5,58	3,50	5,90	4,38
H <sub>2</sub> O	—	4,55	3,57	3,09	4,91
F	—	0,55	—	1,21	1,22
Сумма	99,57	100,74	102,19	100,48	100,49
—O=F <sub>2</sub>	—	0,23	—	0,44	0,51
		100,51		100,04	99,98
Анали- тик	С. Н. Фе- дорчук	И. С. Разина	Д. Тищен- ко	Н. И. Вло- давец	Т. А. Бу- рова
Автор			Б. М. Куп- летский	Э. М. Бон- штедт-Куп- летская	Е. И. Семе- нов

Дебаеграмма этого астрофиллита приведена в табл. 6, а результаты химического анализа — в табл. 8. Астрофиллит из щелочных гранитов обладает наименьшим, из всех известных, содержанием MnO (1,22%) и является минералом почти чисто железистым. По Б. М. Куплетскому, большое содержание в кейвском астрофиллите кремнезема и пониженное — щелочей свидетельствует о том, что этот минерал представляет собой новый минеральный вид из группы астрофиллита. Однако, как показывают приведенные выше исследования, астрофиллит из Кейв ничем существенно не отличается от обычных астрофиллитов. Повышенное содержание SiO<sub>2</sub> в астрофиллите Урма-Вараки вызвано, по-видимому, наличием примеси кварца.

До сих пор структура и систематическое положение минералов группы астрофиллита остаются не известными. Однако факты свидетельствуют о том, что эти минералы принадлежат, по-видимому, к группе слюд.

Наиболее веским аргументом в пользу этого предположения могут служить данные рентгеноструктурного исследования. Действительно, в своей дебаеграмме (табл. 6) астрофиллит близок к биотиту и лепидомелану, причем межплоскостные расстояния у астрофиллита больше, чем у этих слюд:  $d_{(060)}$  астрофиллита — 1,553 Å,  $d_{(060)}$  биотита — 1,54 Å. Соответственно больше должны быть и параметры астрофиллита. По Госнеру и Рейндлю (Gosner u. Reindl, 1934) астрофиллит имеет  $a_0 = 11,70$ ;  $b_0 = 5,40$ ;  $c_0 = 21,10$  Å;  $\beta = 94^\circ$ ;  $z = 4$ . Поменяв местами  $a_0$  и  $b_0$ , можно видеть, что параметры астрофиллита достаточно близки к параметрам слюд.

	$a_0$	$b_0$	$c_0$	$\beta$
Тайниолит . . .	5,27 Å	9,13 Å	10,12 Å	100°
Флогопит . . .	5,32 Å	9,21 Å	10,24 Å	100°12'
Мусковит . . .	5,18 Å	9,02 Å	20,04 Å	95°30'
Астрофиллит . . .	5,40 Å	11,70 Å	21,10 Å	94°

Астрофиллит, судя по приведенным данным, является триоктаэдрической двухслойной моноклинной слюдой (2 M).

Для астрофиллита обычно приводят предложенную Госнером и Рейндлем формулу  $K_2Fe_4Ti[Si_4O_{14}](OH, F)_2$  и относят минерал к диортосиликатам. Считая астрофиллит минералом группы слюд, можно предложить следующую формулу минерала:  $KFe_3[TiSi_3O_{10}](OF)$ . Эта формула близка к формуле, предложенной для астрофиллита И. Д. Борнеман-Старынкевич (Ферсман, 1937):  $3FeSiO_3 \cdot KTiO_2(OH)$ . Намечается изоморфный ряд: лепидомелан  $KFe_3[AlSi_3O_{10}]F_2$  — астрофиллит  $KFe_3[TiSi_3O_{10}](OF)$ . Лепидомелан из Хибин обладает значительно более высокими показателями преломления и углом оптических осей, чем чисто железистый биотит (сидерофиллит). Это связано с высоким содержанием в лепидомелане титана. По-видимому, следует существенно железистые минералы группы биотита без титана именовать сидерофиллитом, а с значительным (3—6%  $TiO_2$ ) содержанием титана — лепидомеланом. На кривой нагревания астрофиллита отмечается эндотермическая остановка при 800°, связанная с разложением и плавлением минерала. Эта остановка происходит при менее высоких температурах, чем в случае флогопита (1100—1200°). Иногда астрофиллит образует закономерные вставки в лепидомелане. Этот факт показывает, что изоморфизм между ними, если он и существует, является несовершенным, прерывистым.

В астрофиллите и куплетските присутствуют барий, рубидий (0,2%) и таллий (по Ф. Абрамову — 0,001%), замещающие калий. Присутствие этих элементов также характеризует астрофиллит как минерал группы слюд.

Химические анализы астрофиллита иногда обнаруживают избыток ионов группы К и недостаток ионов группы  $Fe^{2+}$ . Так же, как и в слюдах, это, вероятно, связано с нахождением части Na в октаэдрической координации.

Среди ионов октаэдрической координации обычно резко преобладает железо, однако известны и почти чисто марганцевые разновидности — куплетскит. Намечается существование и магниевых астрофиллитов (6,39% MgO), хотя вообще по мере перехода от биотита к астрофиллиту магний обычно почти полностью замещается железом.

Наиболее высокими показателями преломления и удельным весом обладают железистые члены, далее следуют марганцевые и, наконец, маг-



ниевые. По мере перехода от железистых членов к марганцевым, по-видимому, происходит изменение оптического знака (переход через  $90^\circ$ ) и схемы плеохроизма.

Несколько противоречит отнесению астрофиллита к минералам группы слюд, а также отнесению содержащегося в нем титана к ионам тетраэдрической координации наличие в астрофиллите циркония и ниобия, замещающих титан. Правда, как показывают последние химические и рентгеноспектральные определения, содержание циркония в астрофиллите, по-видимому, не может быть столь большим, как это указывалось ранее (до 5,34%  $ZrO_2$ ). Эти старые определения, вероятно, основаны на аналитических ошибках в разделении титана и циркония, когда содержания циркония оказывались резко завышенными.

Астрофиллит так же, как и слюды, часто имеет метасоматическое происхождение, замещая первичные минералы (энигматит и др.).

В гипергенных условиях астрофиллит неустойчив. При изменении он переходит в оранжево-желтый минерал, сохраняющий слюдистое строение астрофиллита. Показатели преломления этого стадийного минерала, который можно было бы назвать гидроастрофиллитом, значительно возрастают (до 1,8 и выше). Как показали определения Д. Н. Князевой, в гидроастрофиллите содержится 10,62%  $H_2O$  и лишь 5,02%  $FeO$  (все остальное железо трехвалентное).

## 6. СЕЛАДОНИТ

Селадонит был встречен нами в зонах интенсивного гидротермального изменения пород (ийолит-уртитов и фойяитов) Ловозерского и Хибинского массивов (на горах Карнасурт и Кукисвумчорр). Селадонит обычно является здесь вторичным минералом по эгирину. Селадонит образует псевдоморфозы по эгирину размером до 0,4 см. Под электронным микроскопом частицы селадонита имеют форму чешуек с неправильными контурами (рис. 6). Окраска селадонита зеленовато-голубая. В местах широкого развития селадонита эту окраску приобретает и вся масса измененной породы. Селадонит имеет удельный вес 2,767. Минерал оптически двуосный, отрицательный с небольшим углом оптических осей.  $Ng = 1,640$ ,  $Np = 1,626$ ; интенсивно плеохроирует от голубовато-зеленого (по  $Ng$ ) до желтоватого, почти бесцветного (по  $Np$ );  $Ng > Np$ . Полученная С. В. Грум-Гржимайло кривая спектрального поглощения селадонита из Хибин имеет пологий минимум в области волн около 500 м $\mu$ . Окраска минерала связана, таким образом, с закисным железом (Лазаренко, 1956). На кривой нагревания селадонита (рис. 7) отмечаются эндотермические остановки в интервалах 60—100°, 520—600°, 790—830° и 880—910°. Как показывает кривая обезвоживания селадонита (рис. 8), при температурах 600—800° происходит наиболее интенсивное выделение воды.

Высокотемпературная остановка (при 900°) связана с фазовыми превращениями.

Дебаеграмма селадонита (табл. 10) имеет небольшое количество слабых, расплывчатых линий, что указывает на малую раскристаллизованность минерала. По своей дебаеграмме селадонит Кольского полуострова аналогичен эталонным образцам селадонита и глауконита Е. К. Лазаренко (1956). Судя по  $d_{(000)} = 1,511 \text{ \AA}$ , селадонит с Кольского полуострова является, вероятно, диоктаэдрической слюдой.

В табл. 9 приведены результаты химического анализа хибинского селадонита (с горы Кукисвумчорр). Этот минерал был впервые обнаружен на Апатитовом руднике Ф. Анохиным.

Таблица

## Результаты химических анализов селадонита

Компоненты	Хибиньы		Фассаталь	Карадаг
	вес. %	ат. кол.	вес. %	вес. %
SiO <sub>2</sub>	43,92	0,732	42,32	49,85
TiO <sub>2</sub>	4,17	0,052	—	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,55	0,170	9,58	20,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,24	0,112	11,05	4,83
FeO	2,94	0,041	16,79	2,49
MgO	3,37	0,084	1,82	4,40
CaO	9,04	0,161	9,16	1,45
MnO	0,10	0,001	—	1,24
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,002	} 4,73	3,34
K <sub>2</sub> O	8,23	0,176		—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,002	—	—
п. п. п.	8,70	} 0,995	4,55	6,83
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	0,24			
Сумма	99,77		100,00	100,62
Аналитик	Е. И. Кульчицкая		Раммельсберг	И. А. Кваль- вассер, 1953
Автор			Дельтер	

Таблица 1

## Межплоскостные расстояния, измеренные по дебаеграммам (№ 1, 2) и электрограмме (№ 3) мусковита (Ловозеро) и дебаеграмме (№ 4) селадонита (Хибиньы)

Мусковит						Селадонит	
№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	
l	d	l	d	l	d	l	d
4	10,1	—	—	—	—	—	—
4	4,99	—	—	—	—	—	—
7	4,48	8	4,47	10	4,485	1	4,43
4	3,70	—	—	—	—	10	3,94
8	3,56	8	3,62	—	—	—	—
9	3,34	7	3,33	—	—	5	3,32
4	3,20	—	—	—	—	5	3,05
4	2,98	—	—	—	—	—	—
6	2,83	—	—	—	—	—	—
10	2,567	10	2,55	10	2,630	6	2,57
4	2,451	—	—	—	—	—	—
5	2,381	—	—	8	2,28	4	2,40

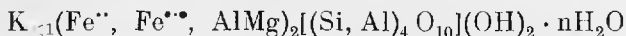
Таблица 10 (продолжение)

Мусковит						Селадонит	
№ 1 *		№ 2		№ 3		№ 4	
I	d	I	d	I	d	I	d
5	2,131	—	—	—	—	—	—
6	2,000	3	1,998	—	—	—	—
8	1,652	5	1,641	8	1,713	3	1,655
10	1,498	10	2,497	10	1,511	8	1,511
5	1,373	—	—	—	—	—	—
4	1,354	—	—	—	—	—	—
4	1,340	—	—	—	—	—	—
7	1,294	5	1,293	9	1,304	2	1,306
—	—	—	—	9	1,255	—	—
—	—	—	—	4	1,132	—	—
—	—	—	—	4	1,035	—	—
—	—	—	—	5	0,990	—	—
—	—	—	—	4	0,905	—	—
—	—	—	—	4	0,869	—	—
—	—	—	—	4	0,853	—	—
—	—	—	—	4	0,815	—	—

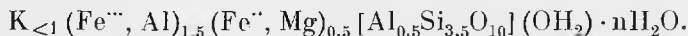
\* Эталон, по И. В. Иогансен.

Спектральным анализом дополнительно констатировано содержание в нем 0,09% Zr, а также V, Ba (средние линии), Be, Cu, Nb, Y (слабые линии).

Теоретическая формула селадонита:



или обычно



Изученный селадонит характеризуется очень высокими содержаниями кальция и титана. Остается неясным, относить ли кальций к ионам октаэдрической координации или считать его вместе с щелочами, или отнести за счет механических примесей, хотя в литературе и известны анализы селадонита, содержащего до 9% CaO (табл. 9). Высокое содержание титана (4,2% TiO<sub>2</sub>), по-видимому, входящего в кристаллическую структуру селадонита, позволяет говорить об особой титановой разновидности селадонита.

Приведенные выше для хибинского селадонита данные (кривые нагревания и обезвоживания, снимки под электронным микроскопом, дебаеграмма и др.) подтверждают справедливость вывода К. Д. Глинки и других ученых о тождественности селадонита и глауконита. На кривых нагревания глауконита, однако, наиболее отчетливо обычно проявлены две первые эндотермические остановки (при 100° и 600°). Селадонит обычно содержит меньше низкотемпературной воды и характеризуется резко выраженной эндотермической остановкой при 800°.

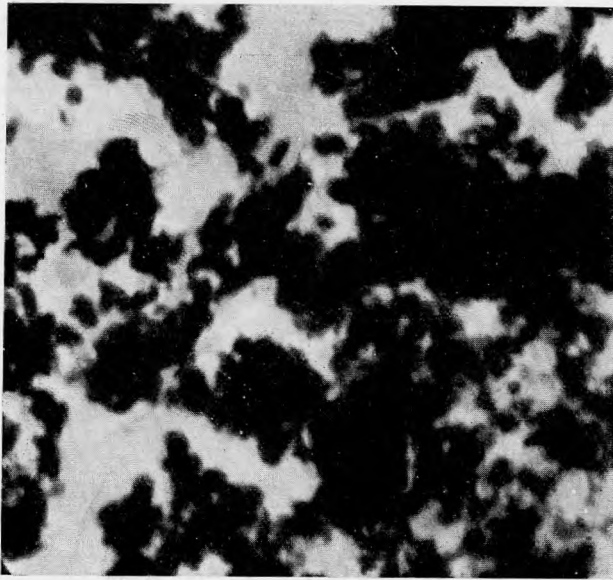


Рис. 6. Характер частиц селадонита под электронным микроскопом.  $\times 8880 \times 3$

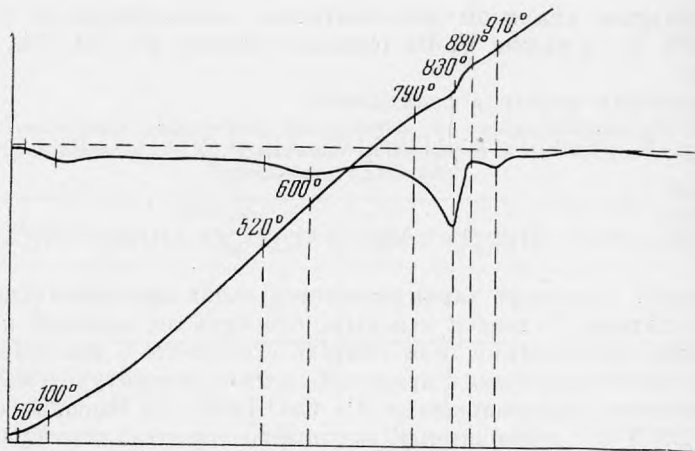


Рис. 7. Кривая нагревания селадонита

Селадонит и глауконит существенно различаются по способу образования. Селадонит является гидротермальным минералом, образующимся при переработке пироксенов (эгирина, авгита) в интрузивных и эффузивных породах. В то же время глауконит — характерный гипергенный минерал, широко распространенный в осадочных породах морского происхождения.

По Е. К. Лазаренко (1956), селадонит, имеющий как гидротермальное, так и гипергенное происхождение, является существенно железистым минералом группы глауконита, в отличие от сколита, минерала существенно алюминиевого.

### 7. МУСКОВИТ

Мусковит встречается в Хибинском и Ловозерском массивах обычно в качестве продукта изменения нефелина. Псевдоморфозы мусковита по нефелину отмечались Е. Е. Костылевой, Ю. В. Никитиным, В. И. Герасимовским и рядом других исследователей (Ферман, 1937). Подобные псевдоморфозы часто называют либнеритом или гизекитом. Термины эти, по-видимому, являются излишними.

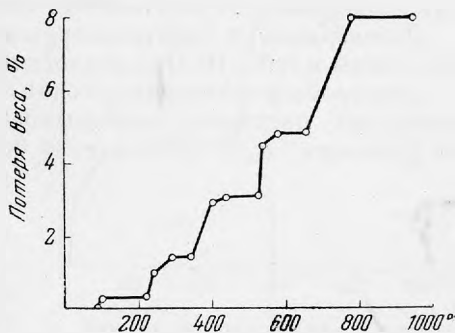


Рис. 8. Кривая обезвоживания селадонита

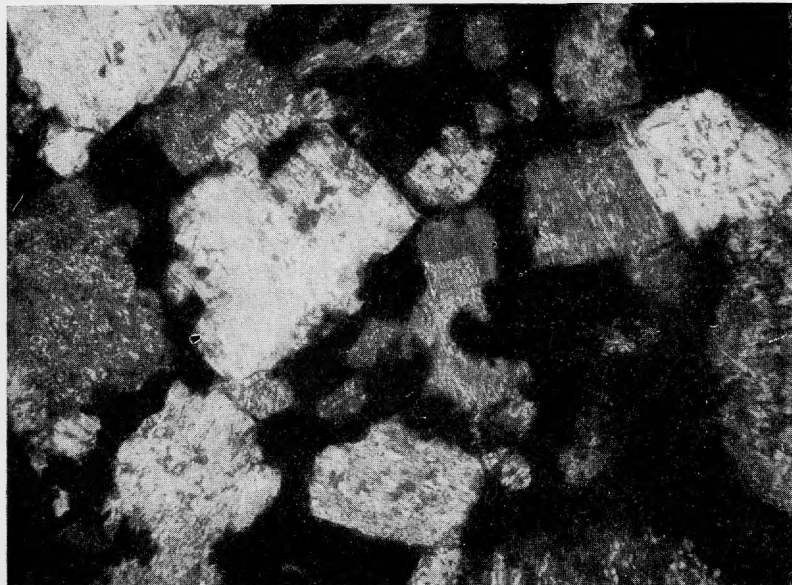


Рис. 9. Псевдоморфозы мусковита (светлое) по нефелину.  $\times 46$ , Ник. +

Псевдоморфозы скрытокристаллического или мелкочешуйчатого мусковита (серицита) по нефелину размером до  $3 \times 1 \times 1$  см обычно имеют правильную (гексагональную или прямоугольную) форму. Мелкочешуйчатый

(сотые доли миллиметра) мусковит (рис. 9) имеет зеленоватую, розоватую, буроватую или серую окраску. Удельный вес 2,716.

Оптически двуосный, отрицательный.  $2V$  около  $35^\circ$ . Угасание прямое. Удлинение положительное.  $N_g = 1,581$ ,  $N_p = 1,568$ . Окрашенные буроватые разности (по-видимому, обогащенные железом) обнаруживают явный плеохроизм от желтоватого (по  $N_g$ ) до бесцветного (по  $N_p$ ),  $N_g > N_p$ .

Дебаеграмма и электронограмма изученного ловозерского мусковита приведены в табл. 10. Они аналогичны эталонным дебаеграммам мусковита.

Электронографическим методом А. М. Воронова определила по текстурованному препарату размеры базиса элементарной ячейки мусковита из Ловозера:  $a_0 = 5,17 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 8,95 \text{ \AA}$ .

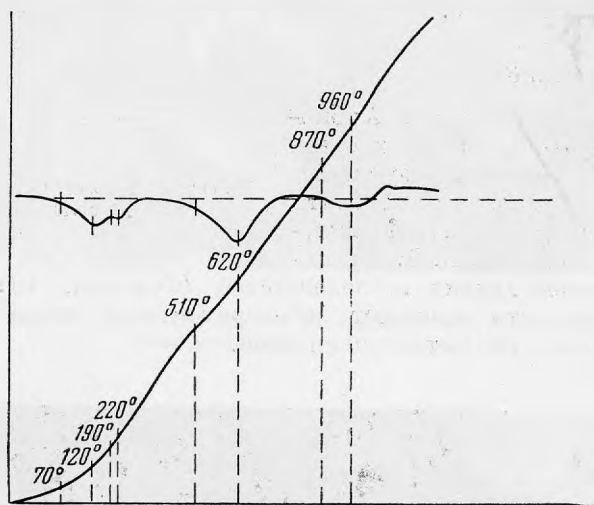


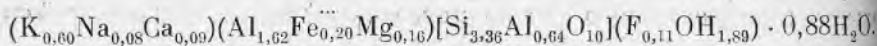
Рис. 10. Кривая нагревания гидромусковита

Для мусковита, находящегося в виде псевдоморфоз по нефелину в породах Гренландии, Иодер установил принадлежность его к весьма характерной для мусковита однослойной моноклинной модификации.

Ловозерский и хибинский скрытокристаллический мусковит почти всегда в той или иной степени изменен и обычно представляет собой уже гидромусковит. Так, на его кривой нагревания (рис. 10) резко выделяются эндотермические остановки при  $70-120^\circ$  и  $190-220^\circ$ , связанные, как показывает это кривая обезвоживания (рис. 11), с удалением низкотемпературной воды. Остановка в интервале  $510-620^\circ$  обусловлена выделением высокотемпературной гидроксильной воды. На кривой нагревания отмечается также остановка в интервале  $870-960^\circ$ , вероятно, связанная уже с разложением минерала.

Результаты химического анализа мусковита с горы Куйвчорр (Ловозеро) приведены в табл. 11. Для сравнения приведен также анализ мусковита («либнерита») из Ю. Тироля. Спектральным анализом в гидромусковите из Ловозера дополнительно обнаружено присутствие Ba, Sr, Th, Mn, V (средние линии), Be, Ga, Cu (слабые линии), Zr, Nb, P (следы лишь).

Пересчет анализа приводит к следующей формуле:



Проанализированный образец характеризуется значительным дефицитом калия и избытком воды, что явно свидетельствует о его принадлежности к гидрослюдам. Учитывая также высокое содержание кремния и железа, этот минерал можно определить как гидроферрифенгит. Для фенгитов характерен гетеровалентный изоморфизм по схеме  $MgSi \rightarrow 2Al$  (по А. И. Гинзбургу).

Мусковит является довольно широко распространенным вторичным минералом Ловозерского и Хибинского массивов. Он замещает нефелин в самых разнообразных породах этих массивов: фойяитах (гора Куйвчорр), уртиках (гора Карнасурт), хибинитах (гора Ловчорр), риччорритах (гора Поачвумчорр) и др. Нефелин довольно крупных участков этих пород почти нацело мусковитизирован, так что образуются своеобразные фации пород. Очень широким развитием пользуется мусковит в линейных зонах изменения пород, обычно секущих массивы почти в вертикальном направлении и имеющих мощность до нескольких метров. В краевых частях этих зон мусковит находится в псевдоморфозах по нефелину. В центральной части иногда встречаются неправильной формы выделения скрытокристаллического мусковита, размером до 5—10 см. В пегматитах замещения нефелина мусковитом почти не наблюдается. В небольших масштабах оно отмечено лишь в пегматите горы Куйвчорр, где мусковит замещает также и микроклин.

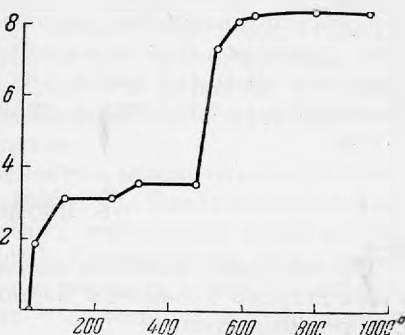


Рис. 11. Кривая обезвоживания гидромусковита

Таблица 11

Результаты химических анализов мусковита

Компоненты	Ловозеро		Южн. Тироль
	вес. проц.	ат. кол.	вес. проц.
SiO <sub>2</sub>	49,56	0,827	45,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,93	0,049	2,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,32	0,556	36,50
MgO	1,49	0,037	0,75
CaO	1,29	0,023	0,81
Na <sub>2</sub> O	0,59	0,019	0,42
K <sub>2</sub> O	6,96	0,148	8,07
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup>	5,55	} 0,895	} 4,70
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	2,50		
F	0,15	0,027	
Сумма	100,34		99,01
-O = F <sub>2</sub>	0,21		
	100,13		
Аналитик	Т. А. Капитонова		Оллахер
Автор			Дельтер.

Процесс мусковитизации нефелина является, по-видимому, эндогенным, гидротермальным, а не гипергенным. Об этом может свидетельствовать сопряженность этого процесса с заведомо эндогенной альбитизацией пород, а также состав мусковита. Действительно, образующийся по нефелину мусковит содержит фтор, барий и другие

компоненты, характерные для обычного эндогенного мусковита, а не для нефелина.

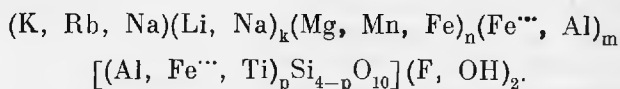
Если мусковитизация нефелина — процесс эндогенный, то интенсивное изменение мусковита происходило уже в гипергенных условиях. При выветривании мусковита наблюдается все более интенсивное выщелачива-

ние калия и гидратация, сопровождающиеся постепенным понижением показателей преломления (до 1,56), удельного веса и др. Скрытокристаллическая форма выделений мусковита в значительной степени способствует интенсивности этого процесса. При более полном выветривании мусковита образуются и глинистые минералы. Так, на горе Карнасурт нами наблюдалось изменение гидромусковита в галлуазит. Таким образом, изменение нефелина вызывает целый ряд вторичных процессов: нефелин замещается мусковитом, мусковит — гидромусковитом, гидромусковит — галлуазитом.

## 8. ИЗОМОРФИЗМ В СЛЮДАХ

Группа слюд является одной из немногих групп минералов, в которой очень широко проявлены изоморфные замещения, как изовалентные, так и гетеровалентные.

Общая формула минералов этой группы, по А. И. Гинзбургу:



Сначала рассмотрим в изученных слюдах изовалентные изоморфные замещения. Калий в ряде слюд замещен натрием, рубидием и таллием. Содержание рубидия (0,2—0,3 % Rb) установлено в ловозерских литиевых слюдах — тайниолите и полилитоините, а таллия (0,001 % Tl) — в астрофиллите. Обнаруживающийся часто при пересчетах анализов тайниолита и других слюд дефицит лития и избыток натрия может быть объяснен тем, что натрий переходит в октаэдрическую координацию и замещает литий. Широко распространен в слюдах изоморфизм двухвалентных магния, железа и марганца.

Содержание марганца достигает в тайниолите и лепидомелане 1,4 % Mn. Изоморфизм магния и железа в тайниолите, сподиофиллите и биотите является, по-видимому, совершенным, однако чисто железистые разновидности известны до сих пор лишь для биотита (сидерофиллит). Для тайниолита и сподиофиллита пока установлены разности с содержанием до 5—6 % Fe. Замещение магния железом существенно изменяет физические свойства слюд. Так, ферротайниолит приобретает темно-коричневую окраску, большие показатели преломления (~1,58), большую электромагнитность, способность легче изменяться в поверхностных условиях и др.

Очень сложными и интересными являются в слюдах гетеровалентные изоморфные замещения и, прежде всего те, которые приводят к вхождению в слюды лития. Литий — характерный элемент щелочных пегматитов. Кроме собственно литиевых слюд — полилитоинита, тайниолита и сподиофиллита, — литий содержится и в биотите. Характерно почти полное отсутствие лития в мусковите и селадоните. В последнем, как было специально показано спектральными анализами Н. В. Лизунова, содержится лишь 0,0002 % Li. Известно, что в глауконите, полным аналогом которого является селадонит, П. П. Пилипенко и Н. В. Лизунов (1940) установили значительное содержание лития. Пример кольского селадонита показывает, что литий характерен не для всех глауконитов, а лишь образовавшихся в определенных условиях (в морских отложениях и т. д.). Селадониту, образующемуся при гидротермальном изменении пироксенов интрузивных и эффузивных пород, по-видимому, неоткуда было брать литий.



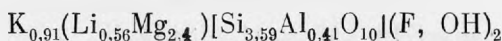
Для литиевых слюд А. И. Гинзбургом (1953) приводятся два главных изоморфных ряда: мусковит — полилитионит с замещением по схеме  $\text{Li} + 2\text{Si} \rightarrow 3\text{Al}$  и биотит-лепидолит с замещением  $\text{Li} + \text{Al} \rightarrow 2\text{Mg}$ . Эти замещения, вероятно, проявлены и в кольских слюдах. Так, по данным А. И. Гинзбурга и Л. Л. Шилина, среди ловозерских полилитионитов встречаются разности, в которых по сравнению с типичным минералом содержится меньше лития и больше алюминия. Эти разности, относимые ими к ирвингиту, рассматриваются как занимающие промежуточное положение между полилитионитом и мусковитом.

Замещением по схеме  $\text{Li} + \text{Al} \rightarrow 2\text{Mg}$ , вероятно, можно объяснить содержание части лития в хибинском биотите (табл. 7). Однако гораздо более широкое распространение в слюдах щелочных пегматитов имеет изоморфизм по оригинальной схеме  $\text{LiSi} \rightarrow \text{MgAl}$ . Приведенные выше данные о тайниолите и сподиофиллите позволяют установить новый изоморфный ряд тайниолит—сподиофиллит—флогопит, в котором и наблюдается изоморфизм по этой схеме.

Действительно, тайниолит, сподиофиллит и флогопит очень близки по своим свойствам. Все это — однослойные моноклинные слюды почти с одинаковыми размерами элементарной ячейки:

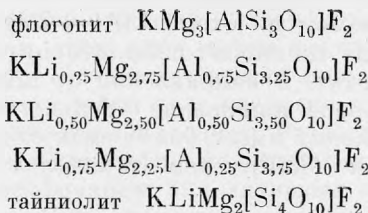
$$\begin{aligned} \text{Флогопит} \quad & . . \quad a_0 = 5,32; \quad b_0 = 9,16; \quad c_0 = 10,03 \text{ \AA}; \quad \beta = 100^\circ. \\ \text{Тайниолит} \quad & . . \quad a_0 = 5,27; \quad b_0 = 9,13; \quad c_0 = 10,12 \text{ \AA}; \quad \beta = 100^\circ. \end{aligned}$$

Эти минералы характеризуются малым углом оптических осей, близкими показателями преломления ( $N_g = N_m = 1,54-1,56$ ). Наиболее ярким доказательством существования указанного изоморфного ряда может служить состав сподиофиллита из Ловозера (табл. 5):

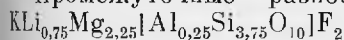


(в упрощенном виде). Эта слюда существенно отличается от тайниолита высоким содержанием алюминия и магния и низким содержанием лития и кремния, а от флогопита, наоборот, повышенным содержанием лития и кремния. Характерно, что тайниолит редко бывает безалюминиевым и обычно содержит то или иное количество алюминия (табл. 4). В флогопите и биотите часто отмечается присутствие лития.

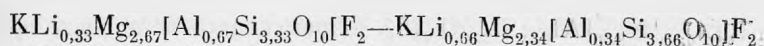
Все это показывает справедливость предложенной схемы изоморфизма  $\text{LiSi} \rightarrow \text{MgAl}$ , по которой замещение магния литием в шестерной координации компенсируется замещением алюминия кремнием в четверной. Изоморфный ряд флогопит — тайниолит можно представить в следующей форме:



Промежуточные разности состава  $\text{KLi}_{0,25}\text{Mg}_{2,75}[\text{Al}_{0,75}\text{Si}_{3,25}\text{O}_{10}]\text{F}_2$  —



или



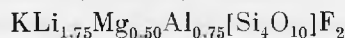
мы считаем целесообразным называть сподиофиллитом, сохранив название забытого плохо изученного гренландского минерала (Flink, 1900). Таким образом, сподиофиллит является промежуточным членом в изоморфном ряду флогопит—тайниолит.

Изоморфизм в этом ряду, в отличие от других рядов литиевых слюд вероятно, является совершенным, хотя аналитических данных, подтверждающих этот вывод, еще мало. Изоморфизму в ряду флогопит—тайниолит благоприятствует то, что все минералы ряда принадлежат к одной и той же полиморфной модификации (1 М) и содержат одно и то же количество атомов (8 — октафиллиты).

Таких благоприятных условий нет в ряду мусковит—полилитинит, где мусковит—гептафиллитовая, обычно двуслойная слюда, а полилитинит — октафиллитовая однослойная.

Изменение свойств при изменении состава минералов в ряду флогопит—тайниолит сравнительно невелико. Оно к тому же часто маскируется влиянием широко распространенного замещения магния железом. Все же можно отметить, что под влиянием содержания лития тайниолит приобретает значительно более низкую температуру плавления (1185°), чем флогопит (1340°). Выделение гидрокислойной воды, фтора и разложение тайниолита также происходит при более низкой температуре (920°), чем флогопит (1100°). Показатели преломления синтетического тайниолита (1,513—1,54) несколько меньше, чем флогопита (1,522—1,549). Меньше, чем у флогопита, должен быть и удельный вес тайниолита (при одинаковом содержании железа).

Намечается и второй изоморфный ряд литиевых слюд — тайниолит—полилитинит, с замещением по схеме  $\text{LiAl} \rightarrow 2\text{Mg}$ :



Так, полилитинит из Ловозера (табл. 2) содержит около 3% Mg, а тайниолит из Гренландии — 3%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

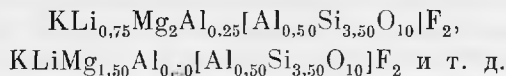
Характерно и образование зональных кристаллов, в центре которых находится тайниолит, а по краям — оторочка полилитинита (рис. 1). Правда, эта оторочка может быть реакционной. Перемежкаемость тонких темно- и светло-окрашенных зон в центральной части кристаллов, вероятно обусловлена изменением содержания в этих зонах железа, замещающего магний, а не изоморфизмом по схеме  $\text{LiAl} \rightarrow 2\text{Mg}$ .

В намечающемся ряду тайниолит—полилитинит существенного изменения свойств не происходит. В направлении от тайниолита к полилитиниту отмечается некоторое понижение удельного веса и показателя преломления. Полилитинит имеет более низкую температуру плавления (1000°) и разложения (850°), чем тайниолит (соответственно 1185° и 920°).

В ряду тайниолит—полилитинит изоморфизм, по-видимому, является несовершенным, проявляющимся, в основном, лишь близ конечных членов ряда.

В литиевых слюдах иногда проявлен сложный изоморфизм: не по одной схеме, а по двум или нескольким. Например, из сподиофиллитового состава  $\text{KLi}_{0,50}\text{Mg}_{2,50}[\text{Al}_{0,50}\text{Si}_{3,50}\text{O}_{10}]\text{F}_2$  образующегося в ряду флогопит—

тайниолит при замещении  $\text{LiSi} \rightarrow \text{MgAl}$ , замещением  $\text{LiAl} \rightarrow 2\text{Mg}$  (как в ряду тайниолит-полилитнионит) можно получить слюды состава



Нами построена условно четырехкомпонентная ( $\text{Li-Mg-Al-Si}$ ) диаграмма состава слюд (рис. 12). Для нанесения точек на диаграмму сумма атомных количеств  $\text{Li}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Si}$  принята за 100. Эта диаграмма может быть использована в целях иллюстрации лишь при соблюдении целого ряда условий: сумма валентностей элементов равна 21; содержание элементов изменяется в определенных пределах (например, лития от 0 до 28) и т. д.

На диаграмме хорошо видны изоморфные ряды флогопит-тайниолит и тайниолит-полилитнионит, а также другие ряды литиевых слюд: мусковит-полилитнионит, мусковит —  $\text{Li}$ -мусковит, флогопит-лепидолит. Намечается также ряд  $\text{Li}$ -мусковит-полилитнионит. Ряд флогопит-тайниолит, в котором изоморфизм, по-видимому, является совершенным, показан сплошной линией. Другие изоморфные ряды с вероятным несовершенным изоморфизмом показаны пунктиром. Точки без номеров на диаграмме отвечают теоретическим составам литиевых слюд, выведенным А. И. Гинзбургом (1953). Точками с номерами отмечены составы некоторых слюд щелочных пегматитов: 1 — ловозерский полилитнионит (табл. 2); 2 — гренландский тайниолит (табл. 4); 3 — ловозерский сподиофиллит (табл. 5); 4 — хибинский биотит (табл. 7); 5, 6 — другие кольские слюды.

Слюды, в которых проявлен изоморфизм только по одной схеме, характеризуются точками, расположенными на прямых, отвечающих изоморфным рядам. Таков, например, ловозерский сподиофиллит (табл. 3). Если же в слюдах проявлен сложный изоморфизм по нескольким схемам, то отвечающие составам этих слюд точки располагаются внутри поля, ограниченного прямыми, соответствующими изоморфным рядам. Все это пространство представляет собой поле развития литиевых слюд, которые в общем можно определить как лепидолиты. Разделив это поле на отдельные участки, можно получить классификацию литиевых слюд. А. И. Гинзбург (1953) предложил классификацию для литиевых слюд участка флогопит-мусковит-полилитнионит. Вряд ли возможно сейчас дать детальную классификацию левого нижнего участка поля (полилитнионит-тайниолит-флогопит), поскольку имеется лишь очень небольшое количество литиевых слюд подобного состава.

Литиевые слюды щелочных пегматитов — тайниолит и полилитнионит — существенно отличаются по своему составу и свойствам от слюд других

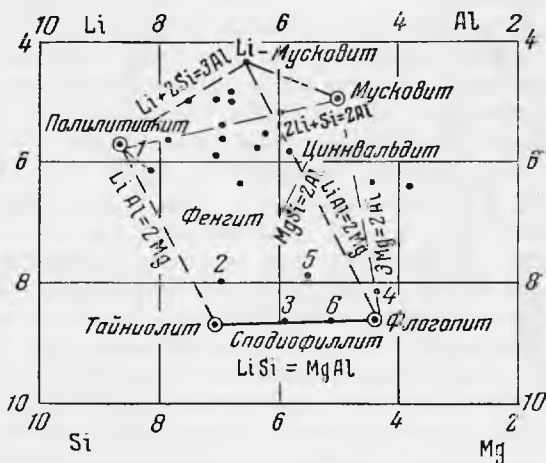


Рис. 12. Диаграмма состава слюд

генетических типов. Так, они являются единственными слюдами, содержащими алюминия в четверной координации. Слюды (мусковит, биотит) обычно выводятся из пиррофиллита и талька, считая, что замещение кремния алюминием компенсируется вхождением калия ( $KAl = 8$ ). Для тайниолита и полилитоинита приходится допускать совершенно другой механизм: замещение магния в тальке и алюминия в пиррофиллите литием и калием ( $Mg = KLi$  и  $Al = KLi_2$ ).

Оригинальны тайниолит и полилитоинит также в рентгеновском отражении. Известно, что все слюды делятся на два типа: диоктаэдрический (с двумя атомами в шестерной координации — как в мусковите  $KAl_2[AlSi_3O_{10}]F_2$ ) и триоктаэдрический (с тремя атомами в шестерной координации, как в флогопите  $KMg_3[AlSi_3O_{10}]F_2$ ). Для слюд первого типа характерно наличие отражения (060) с межплоскостным расстоянием 1,49—1,50 Å, для слюд второго типа — 1,53—1,55 Å. Полилитоинит, тайниолит и спидиофиллит по количеству атомов в октаэдрической координации принадлежат к триоктаэдрическому типу, однако межплоскостные расстояния, отвечающие отражению (060) у них сильно варьируют (табл. 12). Так, тайниолит имеет  $d_{(060)} = 1,51$  Å, а полилитоинит — даже 1,49—1,50 Å, так что эти слюды по рентгеновским данным должны были бы быть отнесены к диоктаэдрическому типу. Получается так, что рентгеновские методы хорошо «чувствуют» содержание в октаэдрической координации алюминия и магния, но значительно хуже — лития. Несмотря на то, что тайниолит имеет  $d_{(060)} = 1,51$  Å, а флогопит — значительно больше (1,54 Å), эти минералы изоморфны, ибо количество атомов октаэдрической координации у них одинаково. В ряду флогопит-тайниолит происходит последовательное насыщение ионов тетраэдрической координации кремнием, замещающим алюминий ( $LiSi - MgAl$ ). Лишь после того, как количество кремния достигает предельного значения (4), начинается, уже в ряду тайниолит — полилитоинит, замещение  $LiAl \rightarrow 2Mg$  и алюминий появляется в октаэдрической координации.

По мере увеличения содержания лития  $d_{(060)}$  и  $b_0$ , постепенно уменьшаются от флогопита (1,54) к спидиофиллиту (1,52—1,53), тайниолиту (1,51) и полилитоиниту (1,50). Это закономерное изменение параметров слюд может быть использовано для их рентгенометрической диагностики и определения содержания в них лития.

В слюдах иногда отмечается содержание бария, который замещает калий, например, по схеме  $BaLi = KMg$ .

В слюдах щелочных пегматитов проявлены интереснейшие изоморфные замещения, связанные с титаном. Так, в лепидомелане содержится 6,00% в селадоните 4,17, в спидиофиллите и тайниолите до 2%  $TiO_2$ . Как было показано Д. П. Сердюченко (1948 г.), этот элемент может в зависимости от условий играть двойную роль и находиться или в октаэдрической или в тетраэдрической координации, причем последний случай наблюдается в щелочных породах, образовавшихся при высоких температурах.

Действительно, в рассмотренных выше слюдах щелочных пегматитов титан обычно находится именно в тетраэдрической координации. Таковы астрофиллит, лепидомелан. Иногда считают, что если титан находится в тетраэдрической координации, то он замещает кремний. На самом деле титан замещает алюминий, а не кремний (распределение алюминия и кремния в тетраэдрах, по-видимому, упорядоченное, а не статистическое).

Компенсация замещения алюминия титаном происходит за счет замещения фтора кислородом ( $Ti^{4+}O^{2-} \rightarrow Al^{3+}F^{-}$ ). Характерно, что указанные титановые слюды, по сравнению с обычными, значительно беднее алюми-

Таблица 12

## Дебаеграммы слюд щелочных пегматитов

Астрофиллит		Флогопит (биотит)		Спидофиллит		Тайниолит		Полилитнионит	
I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
—	—	—	—	8	10,09	5	9,81	2	9,90
—	—	—	—	1	5,06	5	5,01	5	4,90
—	—	—	—	2	4,59	5	4,50	5	5,50
—	—	7	3,66	7	3,65	5	3,65	5	3,57
—	—	3	3,44	—	—	4	3,46	5	3,8
6	3,50	10	3,28	9	3,32	8	3,33	5	3,26
—	—	7	3,10	4	3,129	—	—	5	3,05
—	—	8	2,87	7	2,881	4	2,88	5	2,83
4	2,77	7	2,61	8	2,603	7	2,595	10	2,51
4	2,50	5	2,48	2	2,511	—	—	3	2,46
1	2,48	8	2,41	7	2,405	4	2,37	8	2,36
—	—	—	—	2	2,279	1	2,25	3	2,29
2	2,29	—	—	—	—	1	2,20	3	2,17
1	2,23	4	2,15	4	2,14	1	2,14	3	2,12
2	2,10	8	1,988	8	1,966	10	1,99	8	1,96
—	—	—	—	2	1,837	—	—	1	1,79
4	1,757	—	—	1	1,74	—	—	1	1,69
—	—	8	1,657	7	1,659	5	1,65	8	1,61
1	1,655	—	—	1	1,633	—	—	—	—
—	—	—	—	1	1,603	—	—	—	—
—	—	—	—	1	1,576	—	—	1	1,57
3	1,579	9	1,527	8	1,520	8	1,501	10	1,49
—	—	2	1,425	1	1,424	1	1,433	1	1,42
—	—	8	1,351	3	1,353	1	1,346	1	1,39
—	—	—	—	2	1,314	5	1,303	3	1,33
—	—	2	1,296	2	1,288	—	—	8	1,29
—	—	3	1,249	1	1,253	3	1,245	5	1,23
—	—	3	1,208	1	1,211	1	1,203	5	1,20
—	—	—	—	2	1,122	—	—	—	—
—	—	4	1,056	—	—	—	—	—	—
—	—	4	1,043	—	—	—	—	—	—

нием, фтором и двухвалентными катионами (Fe, Mn, Mg). При замещении алюминия титаном свойства слюд существенно изменяются: значительно увеличивается удельный вес, показатели преломления, угол оптических осей, размеры элементарной ячейки. Если литий в слюдах «чувствуется» рентгеновскими методами плохо, то вхождение титана в решетку слюд существенно изменяет рентгеновскую картину. Так, характерные отражения от (060) увеличиваются до 1,57 Å (табл. 12).

В щелочных массивах встречаются и слюды, в которых титан находится в октаэдрической координации. Таков Ti-флогопит из Африканды. Этот минерал, а особенно Ti-флогопит из лейцитовых пород Австралии (8,97% TiO<sub>2</sub>) и воданит из понкинитов Германии (11,81% TiO<sub>2</sub>), характеризуется высоким содержанием алюминия (до 15% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). В то же время ясно ощущается нехватка ионов октаэдрической координации, где и должен находиться титан. Схема изоморфизма: Ti<sup>4+</sup>O<sub>2</sub><sup>2-</sup> = Mg<sup>2+</sup>F<sub>2</sub><sup>-</sup>. Возможно, что

изоморфизм по схеме  $TiO_2 = MgF_2$  проявлен и в тайниолите (Ловозеро), держащем 2%  $TiO_2$ .

Отметим, что при изоморфизме по схемам  $TiO_2 = MgF_2$ ,  $TiO$  и  $AlF$  содержание кислорода и фтора в слюдах изменяется, так что суммарная валентность анионов ( $O + F$ ) последовательно увеличивается с 22 до 23. Поэтому в этих случаях нельзя пересчитывать составы слюд на 22 валентности, как это иногда делается.

Нами доказывается, что на Кольском полуострове находятся коматитовые щелочные агапитовые массивы трех типов: 1) Африканды — с щелочными пироксенитами, ийолитами; 2) Хибин и Ловозера — с уртитами и нефелиновыми сиенитами; 3) Кейв — с щелочными гранитами. Дифференциация происходит в направлении от первого типа к третьему.

Рассмотрим слюды массивов всех трех типов и изменение их состава в процессе дифференциации. В массивах щелочных основных пород (Африканда и др.) главным минералом группы слюд является флогопит с очень небольшим содержанием железа ( $8\% FeO + Fe_2O_3$ ). В Ловозерском и Хибинском массивах нефелиновых сиенитов и их пегматитах развиты биотит с содержанием 16% и лепидомелан — 24% окислов железа.

Наконец, в щелочных гранитах Кейв находится почти безмагниево-железистый лепидомелан ( $36\% FeO + Fe_2O_3$ ). Таким образом, в процессе дифференциации происходит переход от магниевых слюд к железистым. Литий и литиевые слюды (тайниолит, полилитнионит) широко развиты лишь в пегматитах нефелиновых сиенитов. Характерно, что эти слюды очень бедны алюминием (в тайниолите он вообще отсутствует) и образуются в резко агапитных условиях. Существенно железистые члены группы биотита (лепидомелан) обычно содержат лития меньше, чем более магниевые члены.

В щелочных массивах Кольского полуострова широко представлены титановые слюды, причем содержание титана в железистых слюдах нефелиновых сиенитов и щелочных гранитов больше, чем в магниевых слюдах щелочных основных пород. В последних преимущественно проявлены замещения по схеме  $TiO_2 = MgF_2$ , а в первых  $TiO = AlF$ . В нефелиновых сиенитах и щелочных гранитах развит и вероятный крайний титановый член группы слюд — астрофиллит.

Указанные выше генетические соотношения слюд можно иллюстрировать следующей схемой:



Эти соотношения проявляются и при дифференциации в более мелком масштабе. Так, биотит в породах и ранних типах пегматитов содержит меньше Fe и Li, чем в более поздних типах пегматитов. Литиевые слюды характерны для гидротермальных процессов.

Мусковит в агпаитных щелочных массивах Кольского полуострова распространен слабо, главным образом, лишь в виде продукта изменения нефелина.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- 1) Установлены изоморфные ряды флогопит — тайниолит и тайниолит — полилитнионит.
- 2) Построена условно четырехкомпонентная диаграмма слюд.
- 3) Уточнен состав сподиофиллита и показано, что он является промежуточным членом в ряду флогопит — тайниолит.
- 4) Приведено первое детальное описание тайниолита и сподиофиллита из месторождений Союза.
- 5) Впервые для щелочных массивов Кольского полуострова описаны селадонит и гидромусковит.
- 6) Для селадонита и тайниолита установлено высокое содержание титана. Выделены железистые разновидности тайниолита и сподиофиллита.
- 7) Установлены литиевые гидрослюды (гидрополилитнионит и др.).
- 8) Показана принадлежность или близость астрофиллита к минералам группы слюд.

### ЛИТЕРАТУРА

- Гинзбург А. И. и Берхин С. И. О составе и химической конституции литиевых слюд. Тр. Минер. Музея, вып. 5, 1953.
- Гинзбург А. И. О минерале «литнионит». Тр. Минер. музеи, вып. 7, 1955.
- Лазаренко Е. К. Вопросы номенклатуры и классификации глауконита. Сб. Вопросы минералогии осадочных образований, Изд-во Львовск. ун-та, кн. 3—4, 1956.
- Пилипенко П. П., Лизунов Н. В. Спектроскопическое исследование состава глауконитов. Тр. МГРИ, т. 20, 1940.
- Сердюченко Д. П. О кристаллохимической роли титана в слюдах. Докл. АН СССР, т. LIX, № 4, 1948.
- Ферсман А. Е. и др. Минералы Хибинских и Ловозерских тундр. Изд-во АН СССР, 1937.
- Шилин Л. Л. О литиевых слюдах из пегматитов щелочных магм. Тр. Минер. музея, вып. 5, 1953.
- Ямзин Н. И., Тимофеева В. А., Шашкина Т. И., Белова Е. Н., Глики Н. В. Структура и морфологические особенности фторфлогопита и тайниолита. Зап. Всесоюз. минер. об-ва, ч. 84, № 4, 1955.
- Flink G. On the minerals from Narsarsuk on the Firth of Tunugdliarfik in Southern Greenland. Meddelser om Grönland, 24, 1900.
- Göbner V. u. Reindl E. Über die chemische Zusammensetzung titanhaltiger Silikate, insbesondere von Astrophyllit. Centralbl. Min., Abt. A, 1934.
- Hendricks S. Polymorphism of the micas. Amer. Mineral, 24, № 12, 1939.
- Miser H. a. Stevens R. Taeniolite from Magnet Cove, Arkansas. Amer. Mineral, 23, № 2, 1938.