

ся также по ломоносовиту, и другие продукты его изменения, близкие белянкиниту. В результате выявлены некоторые особенности преобразования ломоносовита в гидротермальных и гипергенных условиях.

### Распространение и условия нахождения ломоносовита и мурманита в Хибинском массиве

В пределах Хибинского массива были известны лишь единичные находки ломоносовита в пегматитах из массивных уртитов вблизи апатитовых месторождений Юкспор (Дудкин, 1959; Дорфман, 1962) и Расвумчорр (Дудкин, 1964). Мурманит отмечался в различных районах преимущественно в пегматитах, но в незначительных количествах и в большинстве случаев сильно разрушенный (Гуткова, 1930; Куплетский, 1930, 1932; Герасимовский, 1937; Галахов, 1959; Дорфман, 1962; Тихоненков, 1963).

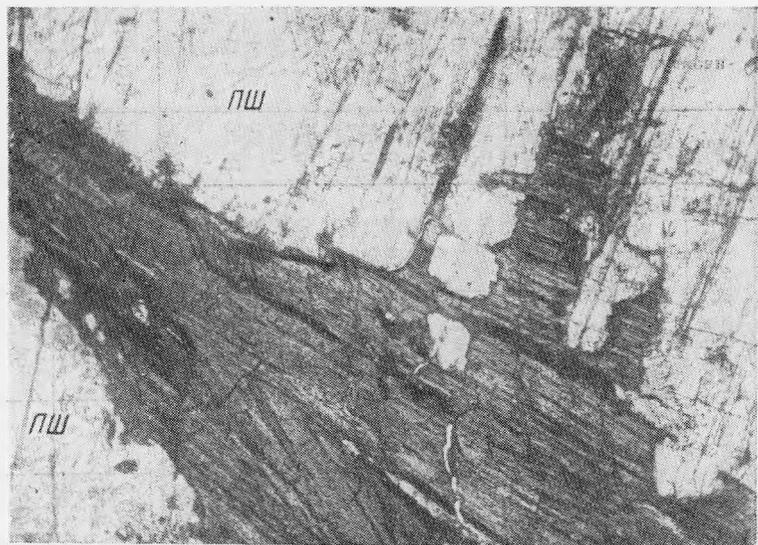
В результате изучения минералогии пегматитов нами установлено более широкое распространение этих минералов на различных горизонтах апатитовых месторождений Расвумчорр, Юкспор и Кукисвумчорр. Они развиты в пегматитах из обогащенных апатитом пород и ийолит-уртитов (трахитоидные ийолиты, массивные уртиты, мельтейгиты), где ломоносовит является первичным минералом, а мурманит — вторичным по ломоносовиту в участках гидротермального изменения пегматитов. В самих породах ломоносовит отсутствует, встречался только в массивных уртитах как очень редкий минерал (по устному сообщению О. Б. Дудкина).

Ломоносовит характерен для эгирин-авгито-полевошпатовых пегматитов; в бедных полевым шпатом и бесполевошпатовых пегматитах уртитового состава встречается значительно реже. Пластинчатые выделения ломоносовита темно-коричневого цвета находятся обычно среди кристаллов калиевого полевого шпата, эгирина-авгита, нефелина, лампрофиллита, иногда вместе с пектолитом и виолломитом. По краям крупных (до  $10 \times 7$  см) пластин ломоносовита из пегматита горы Юкспор наблюдались необычные оторочки мелкокристаллического лампрофиллита. В одном из образцов с ломоносовитом встречены мелкие (до 5 мм) розетковидные агрегаты илимаусита, чрезвычайно редкого титано-ниобосиликата Ва, Na и Се.

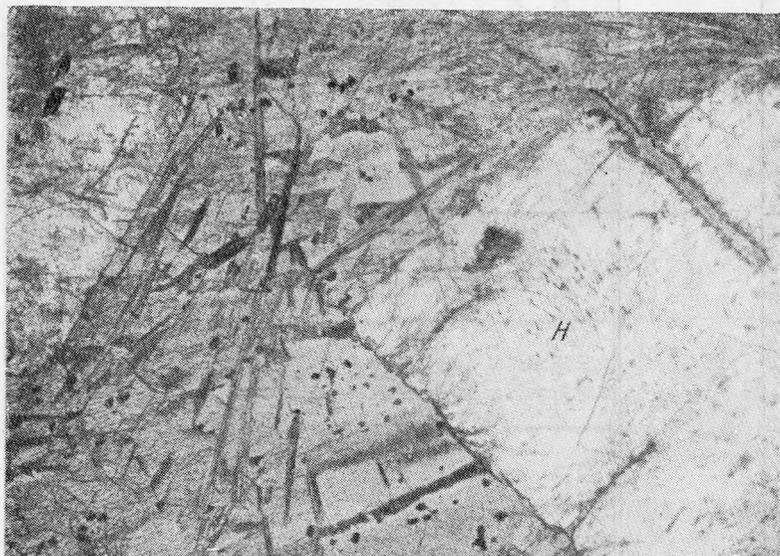
Мурманит, как показало изучение, во всех случаях вторичный по ломоносовиту, но неодинаковый по цвету и характеру выделений. Наиболее часто встречается желтовато-коричневая слюдоподобная разность, иногда — светло-фиолетовый пластинчатый мурманит. В массивном уртите на месторождении Расвумчорр наблюдался тонкий (до 1 мм) прожилок розовато-белого мелкочешуйчатого с перламутровым блеском минерала. Отдельные чешуйки этого необычного по виду мурманита величиной 1—1,5 мм в диаметре при толщине равной долям миллиметра располагались преимущественно параллельно простиранию прожилка. Заслуживает внимания одновременное присутствие ломоносовита и мурманита в маломощной апофизе полевошпато-гакманиито-натролитовой жилы месторождения Кукисвумчорр, где прослеживался постепенный переход пластинчатого темно-бурого ломоносовита (рис. 1, а) в светлый слюдоподобный мурманит (рис. 1, б), содержащий обильные включения игольчатого эгирина и твердого битума типа керита. Образование же игольчатого эгирина и углеродистых веществ, широко распространенных в жиле, связано с гидротермальным преобразованием первичного пегматита. В этих условиях происходило и замещение ломоносовита мурманитом.

### Опыты по обработке ломоносовита водой

Наряду с различными образцами природного мурманита был исследован мурманит, образовавшийся в лабораторных условиях. Для опыта использовался ловозерский ломоносовит с р. Чинглусуай (табл. 1, ан. 3).



а



б

Рис. 1. Пластинчатый ломоносвит (а) и мурманит (б); ПШ — микроклин, Н — нефелин включения в мурманите эгирина (игольчатые) и керита (черные округлые). Гора Кукисвум чорр. Увел. 30, без анализатора

Измельченный минерал (фракция —  $0,25+0,1$  мм) обрабатывался водой в течение года при еженедельной смене воды. Условия опыта подробно описаны ранее (Забавникова, 1967). В результате на поверхности зерен ломоносвита и по трещинкам образовалось хрупкое чешуйчатое вещество серебристо-желтого цвета, внешне схожее с некоторыми образцами природного мурманита. На порошкограмме полученного продукта выщелачивания наряду с характерными линиями ломоносвита (14,20; 2,81; 2,73) появились линии, относящиеся к мурманиту (11,71; 4,24; 2,88). Плотность ломоносвита после длительной обработки водой понижается до 2,97, приближаясь к плотности мурманита. Таким образом, в процессе обработки ломоносвита водой происходит частичное замещение его мурманитом (табл. 1, ан. 5).

Таблица 1

## Химические анализы и физические свойства ломоносита и продуктов его изменения

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Ломоносвит			Мурманит с реликтами ломоносвита							Вторичные продукты типа белянкинита				Белянкинг	Неадекват
											по ломоносвиту		по мурманиту			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14,03	13,99	12,84	8,26	6,92	3,40	3,12	2,28	0,28	—	0,65	0,27	0,10	—	—	1,30
SiO <sub>2</sub>	23,58	23,42	24,07	24,45	27,21	29,43	22,68	—	30,31	31,24	16,67	11,91	11,38	8,00	2,80	36,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	0,69	—	—	—	1,48	0,8	—	0,20	—	0,14	—	0,4	2,99	0,24	0,21
TiO <sub>2</sub>	25,13	22,11	24,43	—	30,50	36,22	36,74	—	33,52	30,40	43,93	53,95	44,72	48,71	48,19	10,05
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,95	2,44	3,00	4,72	4,34	1,00	3,57	—	5,92	6,56	2,35	1,88	6,15	4,40	7,51	24,19
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,37	—	0,04	—	—	—	—	—	0,56	—	0,02	0,01	—	—	0,20
ZrO <sub>2</sub>	0,49	1,99	2,10	—	2,13	0,13	0,20	—	2,24	1,62	0,93	—	0,2	0,16	6,56	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,84	3,72	2,39	0,84	1,93	1,97	3,05	—	1,38	2,96	5,08	6,48	4,61	4,78	1,85	0,63
MgO	0,42	0,11	0,58	1,10	0,76	0,29	0,80	—	0,16	0,64	1,24	—	2,07	0,30	0,14	Не обн.
MnO	1,31	0,89	3,17	—	2,18	0,51	2,26	—	2,27	2,38	2,42	—	5,77	2,27	0,04	1,71
CaO	2,00	1,85	0,80	5,04	0,25	4,38	7,72	—	1,38	3,16	5,45	4,07	4,77	4,78	6,40	4,21
BaO	0,59	—	—	—	—	—	0,8	—	—	—	1,93	—	—	—	—	1,21
Na <sub>2</sub> O	26,60	26,83	26,09	16,35	17,93	12,91	8,66	11,60	11,23	8,64	8,26	0,51	1,50	6,69	0,23	4,56
K <sub>2</sub> O	0,02	—	—	0,38	0,09	1,32	1,36	2,19	0,80	0,62	1,27	0,60	0,73	2,46	0,20	7,80
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Нет	—	0,26	—	3,49	3,99	4,28	—	4,74	5,37	4,10	—	—	5,60	7,20	6,61
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,38	0,49	—	3,40	2,74	2,41	3,09	6,17	4,87	6,13	5,03	3,73	6,19	9,34	18,50	1,33
П. п. п.	—	—	—	4,03	—	—	—	4,20	—	—	—	10,98	10,75	—	—	SrO 0,18
F	0,59	0,53	—	—	—	0,64	0,89	—	0,74	—	0,34	—	0,66	—	—	—
—O=F <sub>2</sub>	100,07 0,25	99,43 0,22	99,73 —	— —	100,47 —	100,08 0,27	100,02 0,37	— —	100,04 0,31	100,28 —	99,79 0,15	— —	100,01 0,29	100,48 —	99,86 —	100,21 —
Сумма	99,82	99,21	99,73	—	100,47	99,81	99,65	—	99,73	—	99,64	—	99,72	100,48	99,86	—
Аналитик	Н. И. Забавникова	Т. А. Бурова		Н. И. Забавникова						Т. А. Бурова	Н. И. Забавникова			Т. А. Бурова	М. Е. Казаков	Т. А. Бурова

Таблица 1 (окончание)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Ломоносовит			Мурманит с реликтами ломоносовита							Вторичные продукты типа белянкинита				Белянкинит	Небелянкинит
											по ломоносовиту		по мурманиту			
Плотность	3,12	3,12	3,13	2,94	2,97	2,97	2,84	—	2,85	2,78	2,91	2,77	2,81	2,69	2,32— —2,40	2,95
Содержание реликтов ломоносовита, рассчитанное по P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мол. %				59	49	24	22	16	2	—	—	—	—	—	—	9
2 V°	45—52	—	55—64	—	—	75—80	62—70	—	—	50—75	61—68	0—25	—	Около 30	25	21—33
Цвет	Темно-коричневый			Серебристо-желтый		Розовато-белый	Светло-коричневый	Светло-фиолетовый			Светло-коричневый	Светло-желтый	Бурый	Темно-бурый	Желто-коричневый	Светло-серый
Характер выделений	Пластинчатый			Мелкочешуйчатый			Слюдоподобный	Пластинчатый								Мелкокристаллический

3, 4, 9, 10, 15 — Ловозеро; остальные — Хибины; 1, 6, 11, 12 — гора Расвумчорр; 2, 8, 14 — гора Юкспор (2, 14 — Дорфман, 1962, 8 — образец А. Н. Зубарева); 3 — р. Чингласуай (Борнеман-Старынкевич, 1946); 4 — гора Карнасурт; 7, 16 — гора Кукисвумчорр; 9 — гора Кедыкверпахк; 10 — гора Сенгисчорр (Борнеман-Старынкевич, 1946); 13 — гора Валепакх (образец Б. Е. Боруцкого); 15 — гора Тюльбьюнуай (Герасимовский, Казакова, 1950); 5 — продукт обработки ломоносовита водой в лабораторных условиях.

Степень выщелачивания фосфата натрия из ломонссовита зависит от длительности опыта и измельчения исходного материала. Более длительная обработка ломонссовита водой вызывает переход в раствор большего количества фосфата натрия. Но интенсивность процесса выщелачивания в пределах каждого опыта со временем сильно падает, поэтому необходимы частая смена воды и перемешивание. За одно и то же время при одинаковых условиях эксперимента более крупный ломонссовит (фракция — 0,5+0,25 мм) теряет фосфора значительно меньше, чем тот же образец, растертый в пудру. Так, после 5-недельной обработки водой ломонссовита, содержащего 13,7%  $P_2O_5$  (гора Юкспор, Хибинь), в более крупной фракции остается 11,8%  $P_2O_5$ , а в мелкой — 8,6%; после 10-недельной обработки — соответственно 9,9 и 7,3%  $P_2O_5$ . После 15-недельной обработки в мелкой фракции было обнаружено всего 3,8%  $P_2O_5$ .

В ходе обработки ломонссовита водой рН раствора над образцом быстро растет. Так как опыты проводятся в замкнутых и ограниченных объемах, щелочность среды сильно повышается, что, вероятно, вызывает переход в раствор наряду с фосфором и натрием небольшой части кремния. Это отмечалось в свое время и И. Д. Борнеман-Старынкевич (1946). В растворе, полученном при обработке ломонссовита, качественно определен ион ортофосфата —  $PO_4$ . В одном из опытов при достаточном накоплении в растворе Na и реакции его с  $CO_2$  воздуха наблюдалось выпадение белого тонкокристаллического осадка углекислого натрия (диагностика подтверждена рентгеновским методом и качественным химическим анализом).

Остановливаясь на химических свойствах ломонссовита и мурманита, следует отметить одинаковое отношение их к кислотам. И тот, и другой легко разлагаются разбавленными соляной, серной и другими кислотами, особенно при нагревании. При этом в раствор переходят все слагающие минерал элементы, кроме кремния, который, сохраняя форму первоначальных зерен, остается в осадке. Этот осадок растворяется 5%-ным раствором соды.

### Состав ломонссовита, мурманита и «промежуточных» членов группы

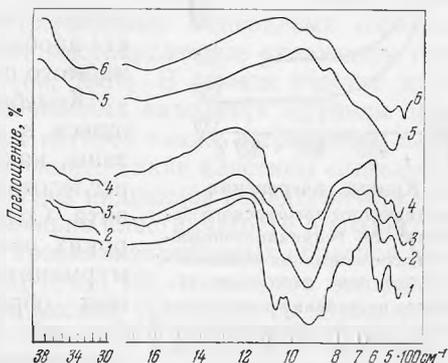
Выполнены новые химические анализы ломонссовита и серии образцов мурманита из Хибинского, Ловозерского массивов и полученного в лабораторных условиях (см. табл. 1). Если анализы ломонссовита (1—3) довольно постоянны, то анализы мурманита (4—10) обнаруживают значительные колебания в содержании разных компонентов. Особенно обращает на себя внимание присутствие в исследованных образцах мурманита различных количеств  $P_2O_5$ . Интересно, что содержания основных подвижных компонентов ( $P_2O_5$ ,  $Na_2O$  и  $H_2O$ ) в искусственно полученном мурманите и мурманите из пойкилитового сиенита горы Карнасурт (ан. 5 и 4) близки. Эти два образца, сходные и по внешнему виду, характеризуют близкую степень изменения ломонссовита в природных и лабораторных условиях. С целью выяснения причины непостоянства состава мурманита и природы промежуточных разновидностей, описанных из Ловозерского массива, проанализированные образцы были детально изучены с использованием методов ИК-спектроскопии, термического и рентгеновского анализов.

В результате сопоставления ИК-спектров поглощения ломонссовита и различных образцов мурманита (рис. 2) выявлены особенности, позволяющие различать по характеру спектра каждый из изучаемых минералов в отдельности и в их смеси. В области  $1100—700\text{ см}^{-1}$  (призма NaCl) ИК-спектр поглощения ломонссовита (рис. 2, 1) характеризуется широкой интенсивной полосой с рядом более или менее четко проявленных максимумов (1070, 1045, 990, 935, 870, 760,  $700\text{ см}^{-1}$ ), спектр мурманита определяется одной простой интенсивной полосой поглощения с основным максимумом около

935  $\text{см}^{-1}$ . В области 700—400  $\text{см}^{-1}$  (призма КВг) в спектре ломоносовита наблюдается двойная полоса с максимумами одинаковой интенсивности (560 и 430  $\text{см}^{-1}$ ) и ступеньками (при 590 и 470  $\text{см}^{-1}$  соответственно), в спектре мурманита два четких максимума при 550 и 425  $\text{см}^{-1}$  неодинаковой интенсивности. Проявляющиеся в спектре мурманита полосы поглощения около 1660 (призма NaCl), 3600 и 3400  $\text{см}^{-1}$  (призма LiF) соответствуют деформационным и валентным колебаниям молекул воды. В спектре мурманита, прокаленного до 700°C, эти полосы отсутствуют (рис. 2,3). Наличие двух полос поглощения молекулярной воды свидетельствует о том, что молекулы ее в мурманите находятся в разных энергетических положениях,

Таким образом, в спектре ломоносовита имеется ряд максимумов, которые отсутствуют в спектре мурманита с минимальным содержанием

Рис. 2. ИК-спектры поглощения  
 1 — ломоносовита; 2 — мурманита  
 (см. табл. 1, ан. 9); 3 — того же  
 мурманита, прокаленного до 700°;  
 4 — продукта выщелачивания ло-  
 моносовита (см. табл. 1, ан.5); 5 —  
 опаловидного белянкинита (Хибин-  
 ский массив); 6 — пластинчатого  
 белянкинита (Ловозерский массив)



фосфора. Эти максимумы — 1070, 1045, 990, 870 и 760  $\text{см}^{-1}$ , осложняющие основную полосу поглощения титанссиликата, определяются, очевидно, фосфатной составляющей ломоносовита. Наличие некоторых из них в спектрах поглощения мурманитов, содержащих  $\text{P}_2\text{O}_5$ , и в спектре мурманита, полученного в лабораторных условиях (рис. 2, 4), указывает на неоднородность всех этих образцов и присутствие реликтов первичного ломоноссовита. Последние действительно были обнаружены при тщательном просмотре образцов под бинокулярной лупой. Реликты темно-коричневого ломоноссовита даже очень мелкие (дсли миллиметра) хорошо выделяются в светлом мурманите. К сожалению, в шлифах они практически неразличимы вследствие близости оптических свойств минералов и сохранения вновь образующимся мурманитом ориентировки первичного ломоноссовита. Присутствие реликтов ломоноссовита в мурманите контролировалось рентгеновским методом, поскольку в порошкограммах ломоноссовита и мурманита имеются различия (см. выше). При съемке мурманита готовились текстурированные образцы, так как при растирке он теряет кристалличность и дает очень слабые порошкограммы.

На термограмме мурманита (рис. 3, 1) кроме основного эндотермического эффекта при 200°C, связанного с выделением большей части воды (7% потери веса из 10%), присутствует еще небольшой прогиб при 270°C, также сопровождающийся потерей веса. Это указывает на двойное положение воды в структуре мурманита и согласуется с рассмотренными данными ИК-спектроскопии. Термограмма обработанного водой ломоноссовита (рис. 3, 2) подобна термограмме мурманита, от которой отличается меньшей интенсивностью основного эндотермического эффекта и соответственно меньшей потерей веса. Присутствие на ней эндотермических эффектов при 750 и 880°C, отвечающих температуре плавления мурманита и ломоноссовита, лишней раз подтверждает двухфазовый характер продукта выщелачивания ломоноссовита.

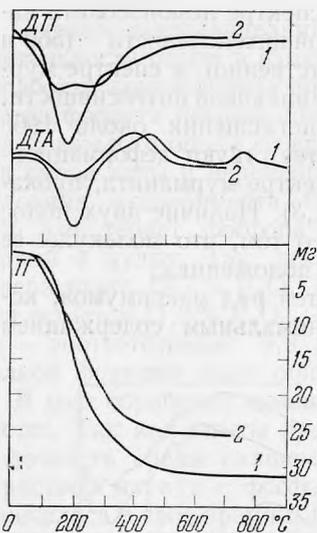


Рис. 3. Кривые нагревания  
1 — пластинчатого ловозерского белякинита; 2 — белякинитоподобного продукта изменения ломоносавита Хибин (см. табл. 1, ан. 11).  
Кривые нагревания природного мурманита и продукта выщелачивания ломоносавита соответственно похожи на вышеприведенные (1 и 2). Кривые получены на дериватографе Н. Т. Ивановой

на основании расчета химических анализов (ан. 7 не принимался во внимание):  $\text{Na}_3\text{Ti}_4\text{Si}_4(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{18}n\text{H}_2\text{O}$ . Эта формула, как и для ломоносавита, отличается от более ранних, предлагавшихся на разных этапах изучения минералов группы ломоносавита (Борнеман-Старынкевич, 1946; Семенов, 1961; Халилов, Макаров, 1966).

Соотношение компонентов формулы (A : B : Z) хорошо выдерживается для всех анализов и равно в ломоносавите 9:4:4, а в мурманите 3:4:4. При пересчете большого количества анализов выяснилось, что коэффициент при группе Na в силикатной части ломоносавита и в мурманите одинаков и равен 3, а не 2, как принимали предыдущие исследователи. Выделение в самостоятельную позицию Mп в рассматриваемых формулах представляется несобоснованным, так как количество атомов Mп в этих минералах даже в сумме с Fe и Mg не достигает целого числа и чаще всего не превышает 0,5. Поэтому Mп включается нами в группу Ti или Na как изоморфная примесь. Трехвалентный титан, выделенный в формулах А. Д. Халиловым, в мурманитах химическим анализом не обнаруживается. Что же касается ломоносавита, то вследствие трудности аналитического определения  $\text{Ti}^{3+}$  в присутствии  $\text{Fe}^{2+}$  его наличие не доказано.

В мурманите, как следует из сопоставления всех известных его анализов, содержание  $\text{H}_2\text{O}$  колеблется от 11 до 2%, общей воды — от 9 до 20% при постоянном отношении A:B=4:4 (Забавникова, 1971). При обработке водой происходит выщелачивание натрия и из мурманита, но значительно более слабое, чем из ломоносавита. Установленное увеличение содержания воды с уменьшением количества натрия в составе мурманита, а также выщелачивания натрия (хотя и слабого) наводит на мысль о возможности размещения воды в структуре мурманита не только в межслесевых пространствах, но и в положениях, занимаемых натрием (предположительно принимаем ее за  $\text{H}_3\text{O}^+$ ).

Состав ломоносавита из Хибинского массива (табл. 1, ан. 1 и 2) близок составу ловозерского (табл. 1, ан. 3). Среди известных в литературе выделяется лишь анализ ломоносавита из фойяитов дифференцированного комплекса горы Карнасурт в Ловозерских тундрах с более высоким содержанием ниобия — 6,34%  $(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_5$  (Еськова, 1959). Пересчеты анализов приводят к следующей формуле ломоносавита:  $\text{Na}_3\text{Ti}_4\text{Si}_4\text{P}_2(\text{O}, \text{F})_{28}$  или  $\text{Na}_3\text{Ti}_4\text{Si}_4(\text{O}, \text{F})_{18} \cdot 2\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Несмотря на целые коэффициенты при катионах, группа анионов во всех анализах ломоносавита имеет дробные коэффициенты (табл. 2). Причина этого пока неясна.

Колебания в анализах мурманита, касающиеся в основном  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , связаны, как показано выше, с присутствием в исследованных образцах реликтов ломоносавита. Содержание последнего меняется в широких пределах (см. табл. 1). Состав самого мурманита довольно постоянен для различных образцов (см. табл. 2). Анализ 7 (см. табл. 1) отличается от остальных низким содержанием кремния. Это связано, вероятно, с более глубоким изменением минерала и начавшимся разрушением его кремневой основы. Общая формула мурманита, выведенная

## Особенности преобразования ломоносовита в гидротермальных и гипергенных условиях

Изменение ломоносовита в различных пегматитах неоднотипно по характеру вторичных продуктов. Чаще всего ломоносовит замещается мурманитом, обычно в участках слабого гидротермального изменения пегматитов и даже в образцах, продолжительное время находящихся в отвалах. В последнем случае наблюдается начальная стадия перехода ломоносовита в мурманит, в основном вдоль трещинок, подобно тому, что происходит при обработке ломоносовита водой в лабораторных условиях.

Значительный интерес представляет ненадкевичит из раздува полевошпато-содалито-натролитовой жилы месторождения Кукисвумчорр (Соколова, 1965), приуроченный к крупнокристаллическому натролиту. Ненадкевичит наблюдался в виде псевдоморфоз по крупнопластинчатому минералу в ассоциации с типичными гидротермальными минералами (сфалеритом, галенитом, кальцитом). Он содержит многочисленные включения твердого битума — импсонита (Зезин, Соколова, 1967). В данном участке жилы наряду с мелкими пустотками выщелачивания находится крупная друзовая полость ( $50 \times 40 \times 150$  см), на стенках которой также встречаются пластины ненадкевичита до  $10 \times 15$  см в поперечнике. Такие пластины слагаются мелкокристаллическим агрегатом вытянутых индивидов ненадкевичита (рис. 4), ориентированных в общем субпараллельно пластинчатости и спайности первичного минерала. В одном из двух проанализированных образцов ненадкевичита был обнаружен фосфор (табл. 1, ан. 16), количество которого после обработки минерала водой в течение месяца уменьшилось. Выщелачивание  $P_2O_5$  из ненадкевичита позволяет отнести установленный анализом фосфор к реликтам ломоноссовита, как и в случае фосфорсодержащих образцов мурманита. Все эти особенности и послужили основанием для того, чтобы рассматривать описанный ненадкевичит в качестве вторичного по ломоносовиту.

Как уже отмечалось, в маломощной апсфизе этой же жилы находится ломоносовит, частично замещенный мурманитом (см. рис. 1). Подобное замещение ломоносовита в одной жиле двумя минералами — ненадкевичитом и мурманитом можно объяснить различной степенью гидротермальной пе-

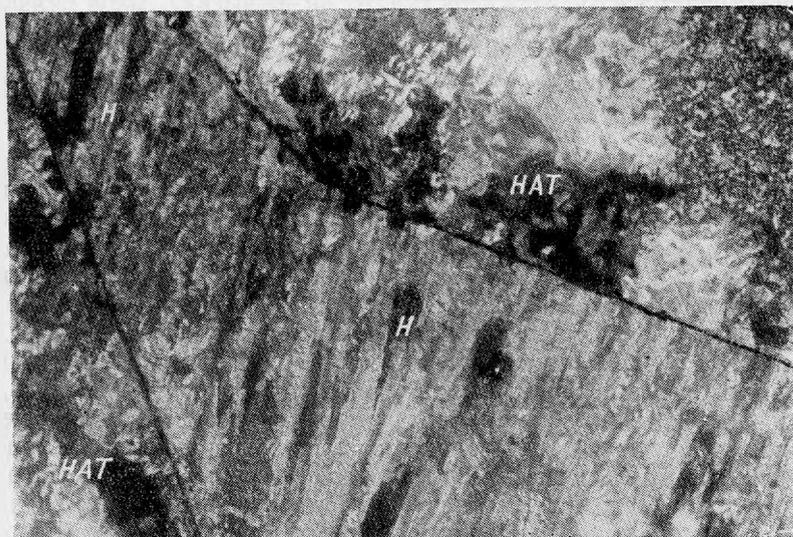


Рис 4. Мелкокристаллический ненадкевичит (H) заместивший ломоноссовит, среди натролита (NAT). Гора Кукисвумчорр. Увел. 30, николи скрещены

Химические формулы ломоносавита, мурманита и ненадквечита

Минерал	№ анали- за	Na	Ca	K	Mn	Ba	H <sub>2</sub> O	Группа А	Ti	Nb	Ta	Fe
Ломоно- совит	1	8,63	0,36	0,01	—	0,03	—	9,03	3,16	0,15	—	0,36
	2	8,77	0,33	—	—	—	—	9,10	2,81	0,19	0,02	0,47
	3	8,43	0,14	—	0,43	—	—	9,00	3,12	0,22	—	0,30
Мурманит**	5	1,98	—	0,05	0,11	—	0,86	3,00	3,23	0,33	—	0,13
	6	1,94	0,75	0,27	0,04	—	—	3,00	3,45	0,07	—	0,23
	9	2,68	0,19	0,13	—	—	—	3,00	3,26	0,34	—	0,13
	10	2,14	0,43	0,10	0,11	—	0,22	3,00	2,93	0,38	0,02	0,29
Ненадквечит**	16	0,37	0,52	1,14	Sr 0,01	0,05	0,91	3,00	0,58	1,20	—	0,05

\* При расчете О по валентности катионов Мп в ломоносавите принимался за четырехвалентный.

\*\* Коэффициенты для мурманита и ненадквечита рассчитаны после вычитания атомных количеств,

переработки первичного пегматита в разных его участках. В маломощной апофизе жилы, где по ломоносавиту развит мурманит, оно значительно слабее, чем в раздуде жилы, содержащем ненадквечит. Условия нахождения и ассоциации минералов в участках развития мурманита и ненадквечита позволяют судить о некоторых существенных преобразованиях ломоносавита.

Мурманит, легко образующийся и в природных, и в лабораторных условиях, представляет собой продукт гидротермального и частично гипергенного изменения ломоносавита. В данном случае изменение ломоносавита ограничивается по существу выносом фосфора и натрия, позиции которых в структуре занимают молекулы воды, а соотношение А:В:Z сохраняется в мурманите таким же, как в силикатной части ломоносавита (3:4:4). Эти особенности объясняют унаследованность мурманитом свойственных ломоносавиту пластичности, спайности, ориентировки, а также близость параметров элементарной ячейки и оптических свойств обоих минералов.

Развитие ненадквечита, сопровождавшееся не только выносом из ломоносавита ряда элементов (P, Na, Ti), но и привнесением новых (Nb, K), происходило в условиях наиболее глубокой гидротермальной переработки пегматитовой жилы. По сравнению с ломоносавитом ненадквечит характеризуется иным соотношением основных групп катионов (А:В:Z=3:2:4) и иной структурой. Наблюдалось замещение ломоносавита тинакситом. Кроме того, в Хибинах встречаются вторичные по ломоносавиту продукты, близкие, хотя и не полностью тождественные, ловозерскому белянкиниту (Герасимовский, Казакова, 1950; Семенов, 1957). Такое изменение ломоносавита наблюдалось в пегматитах из обогащенных апатитом пород месторождения Расвумчорр. Ломоносавит замещается светло-желтыми или светло-коричневыми вторичными продуктами, сохраняющими спайность, пластичность, а иногда и видимые реликты ломоносавита. В одной из пегматитовых жил установлена интересная ассоциация вторичных минералов, образовавшихся также в связи с изменением ломоносавита. Здесь по спайности измененного ломоносавита наблюдались розовато-белый опаловидный белянкинит вместе с карбонат-апатитом, а в непосредственной близости от них — снежно-белые рыхлые налеты соды. В пегматитах горы Валепакх и горы Юкспор встречены вторичные бурые продукты белянкинитового типа, развившиеся по мурманиту (табл. 1, ан. 13 и 14).

Таблица 2

Zr	Mn	Mg	Al	Группа В	Si	Al	Ti	Группа Z	P	O*	ОН	F	Группа О	H <sub>2</sub> O
0,04	0,19	0,10	—	4,00	3,95	0,03	—	3,98	1,99	25,21	—	0,32	25,53	—
0,16	0,13	0,03	0,14	3,95	3,95	—	—	3,95	2,00	25,12	—	0,28	25,40	—
0,19	0,01	0,14	—	3,98	4,02	—	—	4,02	1,81	25,42	0,29	—	25,71	—
0,13	—	0,18	—	4,00	3,76	—	0,24	4,00	—	16,95	1,05	—	18,00	3,48
0,01	0,03	0,07	0,14	4,00	3,80	0,20	—	4,00	—	17,09	0,58	0,33	18,00	3,13
0,08	0,25	0,03	—	4,00	3,87	0,04	0,09	4,00	—	16,80	0,90	0,30	18,00	3,70
0,10	0,15	0,13	—	4,00	4,00	—	—	4,00	—	17,09	0,91	—	18,00	4,12
—	0,17	—	—	2,00	3,89	0,03	0,08	4,00	—	14,18	—	—	14,18	1,16

соответствующих реликтового ломоносовиту.

В шлифах рассматриваемые образцы имеют светло- и темно-коричневый цвет и в отличие от ловозерского белянкинита не плеохроируют. Опаловидный белянкинит темно-бурый, непрозрачный, образует почковидные выделения. На порошкограммах присутствует сильная линия 1,88—1,89, характерная для белянкинита, и наблюдается еще ряд слабых линий, соответствующих ломоносовиту или мурманиту.

Из всех исследованных вторичных продуктов данного типа наиболее близок к типичному ловозерскому белянкиниту опаловидный белянкинит. Его ИК-спектр поглощения имеет типичную для окислов форму: широкая полоса с максимумом около  $500 \text{ см}^{-1}$  (см. рис. 2). Наличие максимумов около  $1640$  и  $3380 \text{ см}^{-1}$ , соответствующих деформационным и валентным колебаниям молекул воды, указывает на то, что вода находится в минерале в молекулярной форме. В ИК-спектре белянкинита, приведенного в справочнике «Минералы» (Семенов, 1967), не были учтены приборные ошибки и поэтому был сделан неверный вывод о наличии гидроксильных групп. В ИК-спектрах остальных образцов из Хибин присутствуют различные полосы поглощения, свойственные ломоносовиту или мурманиту.

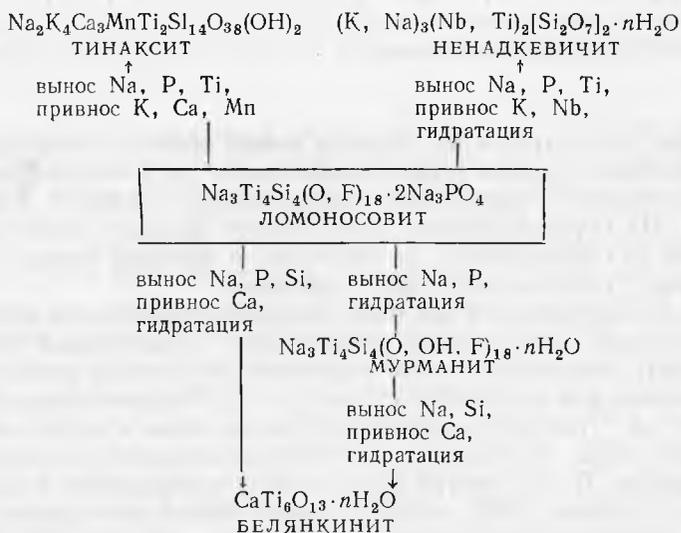
Термограмма белянкинита (см. рис. 3) близка термограмме мурманита. Продукт изменения ломоносавита из пегматитовой жилы месторождения Расвумчорр (табл. 1, ан. 11) при нагревании ведет себя в общем аналогично белянкиниту. Меньшая потеря веса, а соответственно и уменьшение основного эндотермического эффекта на кривой нагревания хибинского образца также свидетельствуют о неполном замещении ломоносавита.

По составу рассматриваемые вторичные продукты (табл. 1, ан. 11—14) занимают промежуточное положение между белянкинитом (табл. 1, ан. 15) и ломоносавитом или мурманитом. Все они отличаются от ловозерского белянкинита более высоким содержанием кремния, щелочей и меньшей степенью гидратации (для опаловидного белянкинита из-за недостатка материала произведено лишь качественное определение Ti). Состав белянкинита соответствует формуле  $\text{CaTi}_6\text{O}_{13} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , которая выведена на основании пересчета химических анализов ловозерского белянкинита с учетом данных ИК-спектроскопии и термического анализа, указывающих на молекулярный характер воды в минерале. Ранее была предложена формула  $\text{Ca}(\text{Ti}, \text{Nb})_6 \times (\text{O}, \text{OH})_{16} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (Борнеман-Старынкевич, 1962). Продукт изменения мурма-

нита в пегматите горы Валепакх обнаруживает повышенное содержание Mn (табл. 1, ан. 13) и приближается к манганбелянкиниту (Семенов, 1957).

Таким образом, исследованные продукты изменения ломоносовита и мурманита представляют собой промежуточные соединения, отражающие различные стадии процесса, идущего в общем в направлении к белянкиниту. Образование белянкинита возможно в гидротермальных и гипергенных условиях в обстановке достаточно высокой щелочности, когда мог ссуществляться вынос из ломоносовита или мурманита не только наиболее подвижных компонентов (Na, P), но и кремния. Последнее влекло за собой разрушение кремне-титановой основы структуры первичного минерала, а не перестройку структуры, что имело место в случае замещения ломоносовита ненадкевичитом. В Хибинском массиве не происходило полного замещения ломоносовита и мурманита белянкинитом, что отражает специфику условий минералобразования. Только в одном случае в Хибинах наблюдались незначительные выделения опаловидного белянкинита, близкого по физическим свойствам к ловозерскому белянкиниту.

В итоге общая схема возможного в гидротермальных и гипергенных условиях изменения ломоносовита и мурманита представляется в следующем виде:



В связи с поздними преобразованиями ломоносовита особое значение приобретают единичные пока находки в Хибинском массиве водорастворимых фосфатов натрия (Дорфман, 1962; Дорфман, Абрашев, 1963), фиксирующих вынос P и Na из ломоносовита.

## ВЫВОДЫ

Результаты изучения ломоносовита, мурманита и других вторичных по ломоносовиту продуктов из пегматитов Хибинского массива, а также мурманита, полученного путем обработки ломоносовита водой, позволяют сделать следующие выводы.

1. Ломоносовит и мурманит — два минерала одной группы. Каждый из них характеризуется постоянным составом. Выведены формулы ломоносавита и мурманита, несколько отличные от предложенных ранее. Несответствие этих формул, отражающих реальный состав минералов, структурным формулам (Халилов, Макаров, 1966) указывает на возможные неточ-

ности в расшифровке столь сложных структур этих необычных по составу титаносиликатов.

Фосфор, различные содержания которого фиксируются в мурманите химическими анализами, связан с остатками незамещенного ломоносовита. Исследованные образцы так называемого фосфорсодержащего мурманита имеют двухфазовый характер. Они представляют собой мурманит с различным содержанием реликтового ломоносовита, что обуславливает кажущееся непостоянство состава мурманита. Промежуточные разности, описанные из Ловозерских тундр, имеют, видимо, ту же природу.

В Хибинском массиве установлен только вторичный по ломоносовиту мурманит. Эти наблюдения требуют проверки состава бесфосфатного ловозерского мурманита, который считается первичным, не связанным генетически с ломоносовитом.

Очевидна неправомерность отнесения ломоносовита и мурманита к одному минеральному виду — мурманиту с выделением двух подвидов — фосфатмурманита (ломоносовит) и гидратмурманита (мурманит) (Поваренных, 1966). Данную группу правильнее называть группой ломоносовита, по названию первичного и наиболее распространенного минерала.

2. В гидротермальных и гипергенных условиях ломоносовит замещается различными вторичными минералами. Наиболее высокотемпературным представляется преобразование ломоносовита в ненадквечит, наблюдавшееся в участках особенно интенсивной гидротермальной переработки пегматита. Образование мурманита и белянкинитоподобных вторичных продуктов происходило при гидротермальном и гипергенном изменении ломоносовита, разграничить которые пока не представляется возможным.

#### Литература

- Белов Н. В., Органова Н. И. Кристаллохимия и минералогия группы ломоносовита в свете кристаллической структуры ломоносовита. — Геохимия, 1962, № 1.
- Борнеман-Старынкевич И. Д. О химической природе мурманита. — В сб. «Вопросы минералогии, геохимии и петрографии». Изд-во АН СССР, 1946.
- Борнеман-Старынкевич И. Д. Изоморфные и неизоморфные замещения в минералах. — Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 6.
- Борнеман-Старынкевич И. Д. Химическая формула белянкинита, Мп-белянкинита, герасимовскита. — В сб. «Авторефераты работ сотрудников ИГЕМ за 1961 г.» (Труды ИГЕМ АН СССР), 1962.
- Власов К. А., Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Ловозерский щелочной массив. Изд-во АН СССР, 1959.
- Галахов А. В. Рисчорриты Хибинского щелочного массива. Изд-во АН СССР, 1959.
- Герасимовский В. И. Мурманит. — В кн. «Минералы Хибинских и Ловозерских тундр». Изд-во АН СССР, 1937.
- Герасимовский В. И. Ломоносовит — новый минерал. — Докл. АН СССР, 1950, 70, № 1.
- Герасимовский В. И. Казакова М. Е. Белянкинит — новый минерал. — Докл. АН СССР, 1950, 71, № 5.
- Гуткова Н. Н. Новый титаносиликат — мурманит из Ловозерских тундр. — Докл. АН СССР, серия А, 1930, № 27.
- Дорфман М. Д. Минералогия пегматитов и зон выветривания в ийолит-уртитях г. Юкспор Хибинского массива. Изд-во АН СССР, 1962.
- Дорфман М. Д., Абрашев К. К. О гипергенном фосфате натрия в Хибинском массиве нефелиновых сиенитов. — Труды Мин. музея АН СССР, 1963, вып. 14.
- Дудкин О. Б., Козырева Л. В., Померанцева Н. Г. Минералогия апатитовых месторождений Хибинских тундр. Изд-во «Наука», 1964.
- Дудкин О. Б. Особенности строения гигантского пегматитового тела в ийолит-уртитях г. Юкспор (Хибины). — В сб. «Материалы по минералогии Кольского полуострова», вып. 1. Кировск, 1959.
- Еськова Е. М. О минералах группы ломоносовита — мурманита. — Труды ИМГРЭ, 1959, вып. 2.
- Забавникова Н. И. Обработка водой минералов группы ломоносовита. — В сб. «Методы химического анализа и состав минералов». Изд-во «Наука», 1967.
- Забавникова Н. И. О формуле мурманита. — В сб. «Методы химического анализа и химический состав минералов». Изд-во «Наука», 1971.
- Зезин Р. Б., Соколова М. Н. Макропроявления углеродистых веществ в гидротермальных образованиях Хибинского массива. — Докл. АН СССР, 1967, 177, № 4.

- Куплетский Б. М.* К минералогии Хибинских тундр. — Докл. АН СССР, серия А, 1930, № 13.
- Куплетский Б. М.* Кукисвумчорр и прилегающие к нему массивы центральной части Хибинских тундр. — Материалы по петрографии и геохимии Кольского п-ова. — Труды СОПС, серия Кольская, 1932, вып. 1.
- Поваренных А. С.* Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев, изд-во «Наукова думка», 1966.
- Расцветова Р. К., Симонов В. И., Белов Н. В.* Кристаллическая структура ломоносита  $\text{Na}_5\text{Ti}_2[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{PO}_4]\text{O}_2$  — Докл. АН СССР, 1971, 197, № 1.
- Семенов Е. И.* Окислы и гидроокислы титана и ниобия в Ловозерском щелочном массиве. — Труды ИМГРЭ, 1957, вып. 1.
- Семенов Е. И.* Группа ломоносита — мурманита. — В кн. «Минералогия редких элементов», т. 2. Изд-во «Наука», 1964.
- Семенов Е. И., Органова Н. И., Кухарчик М. В.* Новые данные о минералах группы ломоносита — мурманита. — Кристаллография, 1961, вып. 6.
- Семенов Е. И.* Белянкинит. — В спр. «Минералы», т. 2, изд-во «Наука», 1967.
- Семенов Е. И.* Минералогия щелочного массива Илимасак. Изд-во «Наука», 1969.
- Соколова М. Н.* К минералогии глубоких горизонтов апатитового месторождения Кукисвумчорр в Хибинских тундрах. — Докл. АН СССР, 1965, 160, № 1.
- Тихоненков И. П.* Нефелиновые сиениты и пегматиты Хибинского массива. Изд-во АН СССР, 1963.
- Халилов А. Д., Макаров Е. С.* Кристаллохимия минералов группы мурманита — ломоносита. — Геохимия, № 3, 1966.