

МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

УДК 549

© А. Е. ЗАДОВ, * д. чл. Н. Н. ПЕРЦЕВ, ** д. чл. Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ, ***
Н. В. ЧУКАНОВ, **** О. Ю. КУЗНЕЦОВА **

ФОШАГИТ И ГИЛЛЕБРАНДИТ ИЗ КСЕНОЛИТОВ В ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОМ МАССИВЕ (ПРИБАЙКАЛЬЕ)

A. E. ZADOV, N. N. PERTSEV, D. I. BELAKOVSKY, N. V. CHUKANOV, O. Yu. KUZNETSOVA. FOSHAGITE
AND HILLEBRANDITE FROM SKARN XENOLITHS OF IOKO-DOVYRENSKY MASSIF

* НПО «Регенератор», Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, к. 8, оф. 318а

** Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
109017, Москва, Старомонетный пер., 35. E-mail: <pertsev@igem.ru>

*** Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, Москва, Ленинский пр., д. 18, корп. 2

**** Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка

The rare calcium-hydrosilicates foshagite, $\text{Ca}_4\text{Si}_3\text{O}_9(\text{OH})_2$, and hillebrandite, $\text{Ca}_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2$, have been found among skarns developed within large calcite-dolomite xenoliths included inside Ioko-Dovyrensky gabbro-peridotite layered massif (Northern Baikal region). The skarns containing those hydrosilicates occur in the contact with silicified chert nodules inside the primary carbonate xenoliths. The calcium-hydrosilicates are the secondary products of a regressive hydrothermal alteration of minerals in certain skarn zones, such as the merwinite one with monticellite, spurrite and calcite. Foshagite and hillebrandite, together with associated minerals, have been studied using EMP, X-ray- and IR spectroscopy, derivatography and optic methods.

Фошагит $\text{Ca}_4\text{Si}_3\text{O}_9(\text{OH})_2$ и гиллебрандит $\text{Ca}_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2$ — редкие кальциевые гидросиликаты, широко развиты в ксенолитах апокарбонатных пород внутри Йоко-Довыренского дунит-троктолит-габброноритового массива, Северное Прибайкалье. Эта находка заслуживает внимания, так как фошагит описан всего в трех проявлениях в скарнах: Крестмор (Калифорния, США), Велардена (Дуранго, Мексика) (Heller, Taylor, 1954) и упомянут (Kusachi, Henmi, Henmi, 1989) в Фука (Окаяма, Япония) почти без описания (с кальцитом и дженнитом). Гиллебрандит распространен шире. В Крестморе фошагит встречается в виде асбестовидного тонкоигольчатого параллельно-шестоватого агрегата и, как правило, находится в тесном срастании с гиллебрандитом. Фошагит в Велардене — примесь в гиллебрандите.

Йоко-Довыренский массив находится в ~60 км севернее г. Нижнеангарска, массив детально описан (Гурулев, 1983; Конников, 1986; Кислов, 1998). Ксенолиты карбонатных пород, преимущественно исходно доломитовых, размерами до десятков метров в поперечнике, превращены в периклазовые бруситовые мраморы. Контактво-метасоматические процессы в них описаны Н. Н. Перцевым и Л. И. Шабыниным (1979). Скарны образованы как в непосредственных контактах карбонатных пород с магматическими породами, так и в контактах с кварцитами, образовавшимися по кремневым стяжениям, и относятся к фации наименьших глубин и наиболее высоких температур (ларнит-мервинитовая фация Коржинского). Скарны вокруг кварцитов образовались по диффузионному механизму — биметасоматозу (в отличие от

инфильтрационных скарнов интрузивных контактов, которые мы здесь не рассматриваем). В зависимости от первоначального Ca/Mg отношения и содержания в исходной карбонатной породе глинозема зональность диффузионных скарнов варьирует. Зональность осложнена интенсивными процессами регрессивного изменения. Мощность всей скарновой колонки — от 2—3 до 20—30 см. Полная зональность (по главному минералу) представлена следующей последовательностью: кварц | волластонит | голубой или зеленый диопсид | розоватый фошагит | апомелилитовый монтичеллит-куспидиновый симплектит | полиминеральная белая фарфоровидная зона (реже желтоватая, бледно-коричневая, серовато-сиреневая) | апопериклазовый бруситовый мрамор. Изредка между диопсидом и фошагитом наблюдается «дополнительная» прослойка волластонита. В ядрах некоторых кристаллов куспидина встречается неизменный акерманит (оптика). В фарфоровидной зоне встречаются замещения акерманита агрегатом волластонита (фошагита) и монтичеллита. Часто те или иные зоны (кроме фарфоровидной) отсутствуют или вырождаются в разрозненные зерна минерала. Вдоль контактов зон часто проявлены низкотемпературные гидротермальные изменения, особенно по контакту с мраморами. Контакты с вмещающими мраморами четкие, обогащены бруситом.

Кроме зоны фошагита описываемые кальциевые гидросиликаты слагают также значительную часть объема фарфоровидной зоны и в небольшом количестве встречаются в зоне волластонита.

Фошагитовая зона имеет мощность до 5 см и сложена агрегатами тонкоигльчатого фошагита. Фошагитовая зона возникла в результате замещения (иногда псевдоморфного) ранних минералов: преимущественно волластонита и диопсида. Агрегаты фошагита часто субнормальны к контактам зоны, реже хаотичны, иногда образуют слои. Характерны перистые, веерообразные агрегаты. Содержание Fe и Mn в фошагите совершенно незначительно (табл. 1), его бледно-розовый цвет, вероятно, имеет ту же природу, что и у некоторых образцов ксонотлита («дефектная» окраска). Иногда цвет зоны серый. Среди фошагита встречаются разрозненные зерна реликтового волластонита [$n_g = 1.617(2)$, $n_m = 1.628(2)$, $n_p = 1.629(2)$, $D = 2.88(2)$ г/см³], монтичеллита и игльчатые кристаллы позднего диопсида практически «теоретического» состава. Встречен аксессуарный апатит (табл. 2) с эмпирической формулой $\text{Ca}_{10}[\text{P}_{5.23}(\text{CO}_3^{2-})_{1.11}\text{Si}_{0.29}\text{Al}_{0.04}](\text{OH}, (\text{CO}_3^{2-})_2)$ (или $\text{CO}_3^{2-} > \text{OH}$; CO_3^{2-} рассчитано по балансу заряда).

Фарфоровидная зона. Фарфоровидные продукты изменения характерны для мервинита. Так, фарфоровидные прожилки в мервинитовом скарне из Иглика (Болгария) оказались представленными в основном смесью монтичеллита с деллаитом $\text{Ca}_6\text{Si}_3\text{O}_{11}(\text{OH})_2$ (Перцев и др., 1975) и образовались, согласно экспериментальным данным, в интервале температур 730—690 °С.

В Йоко-Довыренском массиве фарфоровидная зона сложена другими парагенезисами. Здесь обнаруживаются описываемые кальциевые гидросиликаты, переменное количество монтичеллита двух генераций, брусит (его количество увеличивается по мере приближения к бруситовому мрамору) и небольшое количество кальцита. Местами встречаются зеленые пятна (до 5—10 см) везувианового симплектита (второй минерал симплектита полностью выщелочен; присутствует также брусит). Вблизи поверхности выветривания в порах и трещинках обнаруживается (ИК-спектроскопия) арагонит. В фарфоровидной зоне часто наблюдается «полосатость», обусловленная чередованием преобладания монтичеллита или гидросиликатов (замутненные, мелоподобные «полосы»). Характерна мелоподобная «полоса» (до 2 см) вдоль контакта с зоной фошагита с высоким (более 50—60 мас.%) содержанием фошагита и (или) пломбиерита. В целом фошагит тяготеет к обогащенной кремнеземом части фарфоровидной зоны (к контактам с зонами диопсида и волластонита). Интерстиции кристаллов фошагита часто заполнены антигоритом (рентгенография, зонд).

Фарфоровидная зона в Йоко-Довыренском массиве, по-видимому, образована по зоне существенно мервинитового состава. В ходе реакции с понижением температуры от 820 °С мервинит + кальцит = монтичеллит + спуррит образовались тонкозер-

Таблица 1

Химический состав (мас.%) кальциевых гидросиликатов из Йоко-Довыренского массива образцов ИД-207, ИД-77, ИД-208 и ИД-71

Chemical composition of calcium hydrosilicates from Ioko-Dovyrensky massif (wt %)

Компонент Component	Фошагит Foshagite				Гиллебрандит Hillebrandite		«Гидроме- литит» «Hydrome- lilite»
	Ca ₄ Si ₃ O ₉ (OH) ₂	зона фошагита Foshagite zone	фарфоровидная зона Porceline-like zone		Ca ₂ SiO ₃ (OH) ₂	фарфоровидная зона Porceline-like zone	
		ИД-207	ИД-77	ИД-208		ИД-71	ИД-71
Na ₂ O	—	—	—	0.14*	—	—	0.19*
K ₂ O	—	—	0.04*	0.19*	—	—	—
MgO	—	—	0.11*	—	—	—	4.90
CaO	53.08	51.30	51.98	53.60	58.96	57.81	37.07
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	15.67
FeO	—	0.017**	—	0.16*	—	—	0.64
MnO	—	0.003**	—	—	—	—	0.08*
SiO ₂	42.66	40.59	42.24	42.67	31.58	30.72	36.75
TiO ₂	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O	4.26	5.97***	5.63	3.24	9.46	11.47	4.27
Cl	—	—	—	—	—	—	0.11
SO ₃	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	100.0	97.86	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Ca	4	4.06	3.96	4.04	2	2.02	
Si	3	3.00	3.00	3.00	1	1.00	
OH	2	2.77***	2.7	1.8****	2	2.5	
H ₂ O	—	0.17***			—		

Примечание. Звездочкой отмечены недостоверные содержания. FeO и MnO в зоне фошагита (две звездочки) определены атомно-абсорбционным методом, аналитик И. В. Кислова. Содержание H₂O определено по дефициту суммы анализа или по данным дериватографии (три звездочки), в том числе без учета «недостоверных» катионов (четыре звездочки). Аналитики: обр. ИД-207 — А. В. Мохов (LINK ISIS), обр. ИД-208 — Л. А. Паутов (JSM-50), остальные образцы — А. Н. Нерасов (микроанализатор CAMEBAX со спектрометром LINK AN-10000).

нистые монтичеллит-спурритовые симплектиты, обычно они составляют основу зоны. Спуррит почти нацело (сохранились лишь реликты) выщелочен и(или) замещен кальциевыми гидросиликатами. Агрегаты кальциевых гидросиликатов иногда похожи на двойники мервинита. Такие «двойники» расположены среди монтичеллит-спурритовых симплектитов и представляют собой «короны» тонкоигольчатых кальциевых гидросиликатов [тесно перемежающихся колоний кристаллов с отношением Ca/Si от ~2/1 до ~1/2 (филосиликаты)] вокруг трещиноватых зерен монтичеллита. Возможно, исходно это были кристаллы раннего монтичеллита, которые замещались по пересекающимся (часто перпендикулярно) системам параллельных трещин.

Кальциевые гидросиликаты сосредоточены в мервинитовой зоне скарна, поскольку мервинит очень чувствителен к понижению температуры флюида и легко изменяется под действием реакций гидратации и карбонатизации.

Монтичеллит — почти теоретического состава (табл. 2). Брусит [$n_0 = 1.563(2)$, $n_c = 1.580(2)$] содержит 0.29 мас.% FeO. Брусит заполняет полости выщелачивания предположительно кальцита или спуррита.

Таблица 2

Химический состав (мас.%) минералов, ассоциирующих с фошагитом и гиллебрандитом в обр. ИД-77, ИД-71, ИД-108, ИД-208, ИД-207

Chemical composition of minerals associated with foshagite and hillebrandite (wt %)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
	ИД-77	ИД-71	ИД-108		ИД-208	ИД-207	ИД-207
Na ₂ O	—	0.23*	0.30	—	—	—	—
K ₂ O	—	—	—	—	0.16	—	—
MgO	25.73	25.56	25.94	—	17.01	17.85	—
CaO	35.70	34.93	35.45	61.26	28.40	27.04	53.36
Al ₂ O ₃	—	0.06	—	—	—	—	0.19
FeO	0.17	0.71	0.07*	—	0.22	—	—
MnO	—	0.05*	0.06*	—	—	—	—
SiO ₂	38.34	38.44	38.06	33.17	54.42	54.49	1.67
TiO ₂	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	—	—	—	0.61	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	35.29
SO ₃	—	—	—	—	0.09*	—	—
Cl	—	—	—	—	—	—	—
F	—	—	—	8.85	—	—	—
F ₂ =O	—	—	—	3.72	—	—	—
Сумма	99.94	99.98	100.11	100.17	100.30	99.39	90.51

Примечание. Звездочкой отмечены недостоверные содержания. 1—3 — монтichelлит: 1 — ранний с фошагитом, 2 — ранний с гиллебрандитом, 3 — вторичный (симплектит, с гиллебрандитом); 4 — куспидин (Перцев, Шабынин, 1979); 5, 6 — диопсид: 5 — из фарфоровидной зоны, 6 — из зоны фошагита. В анализах диопсида фарфоровидной зоны обычно $Mg < 0.5Si < Ca$, что связано с микровключениями (3—5 мас.%) силикатов кальция и, возможно, кальцита; 7 — апатит из зоны фошагита.

Встречен «гидромелилит» (табл. 2) — недостаточно изученный минерал, известный также как хуанит и себолит. Наблюдалось небольшое (2—3 мм) жилообразное тело, в осевой зоне которого находятся зерна кальцита и агрегаты брусита. Является ли это образование псевдоморфозой по глиноземистому мелилиту, или «гидромелилит» здесь первичный — не ясно.

Гиллебрандит тяготеет к контактам с мраморами и приурочен к спуррит-монтichelлитовым симплектитам; отношение $Ca/Si = 2/1$ у гиллебрандита близко $Ca/Si = 5/2$ спуррита. Флюиды растворяли спуррит и осаждали гиллебрандит здесь же в образовавшихся порах монтichelлитового симплектита (повсеместны и незаполненные микропоры), по межзеренным границам и трещинкам. В небольшом количестве гиллебрандит образовался по фошагиту.

По данным дериватографии (аналитик П. М. Карташов, ИГЕМ РАН), зона спуррит-монтichelлитовых симплектитов (образец ИД-108) содержит (мас.%): ~42 % гиллебрандита и ~7 % брусита; зоны, обогащенные фошагитом, содержат (мас.%): 40—60 % фошагита, 3—5 % гиллебрандита, ~1—4 % брусита и ~3—10 % антигорита.

Вместе с монтichelлит-куспидиновыми симплектитам и монтichelлит-волластонитовыми агрегатами могут встречаться те же кальциевые гидросиликаты, что и в фарфоровидной зоне.

Зона волластонита сложена агрегатом его дошковидных кристаллов или (реже) волокнистым параллельно-шестоватым агрегатом с переменным количеством светло-зеленого диопсида. Среди волокнистого волластонита (смесь политипов 2M и 1T) встречены фошагит и тоберморит, которые имеют здесь характер примеси и тяготеют к участкам, обогащенным диопсидом. На контакте волластонита и диопсида встречаются белые «пятна» фошагит-диопсид-тоберморитового состава.

Описание кальциевых гидросиликатов

Минералы были изучены методами порошковой рентгенографии (камеры РКГ-86, Гинье, дифрактограф) (табл. 3), ИК-спектроскопии и другими методами. Химический состав определен электронным зондом (табл. 1). В качестве эталонов сравнения использовались образцы фошагита и гиллебрандита из фондов Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана РАН. При съемке в камере Гинье фошагит из Йоко-Довыренского массива и образцы сравнения были помещены на соседние дорожки пленки (табл. 3); полученные рентгенограммы имеют больше линий, чем литературные эталоны, ввиду более чувствительной методики и наличия «примеси» монтчеллита, брусита и т. п. Эталонный образец фошагита из Крестмора содержит примесь гиллебрандита, а образец гиллебрандита из Велардены — примесь фошагита (~13—16 мас.%).

Фошагит. Порошкограммы образцов фошагита из Йоко-Довырена и Крестмора близки (табл. 2).

По ИК-спектру видно (рис. 1), что карбонатные группы в фошагите отсутствуют (обычны малые примеси кальцита), водород находится в двух неидентичных гидроксильных группах. Имеется сорбированная вода. ИК-спектры образцов фошагита из Йоко-Довыренского массива имеют ряд отличий от фошагита из Крестмора и одновременно несколько отличаются между собой. Характерны отличия в дублете линий νSiO в области 1060—1083 см^{-1} (изменяются значения волновых чисел и относи-

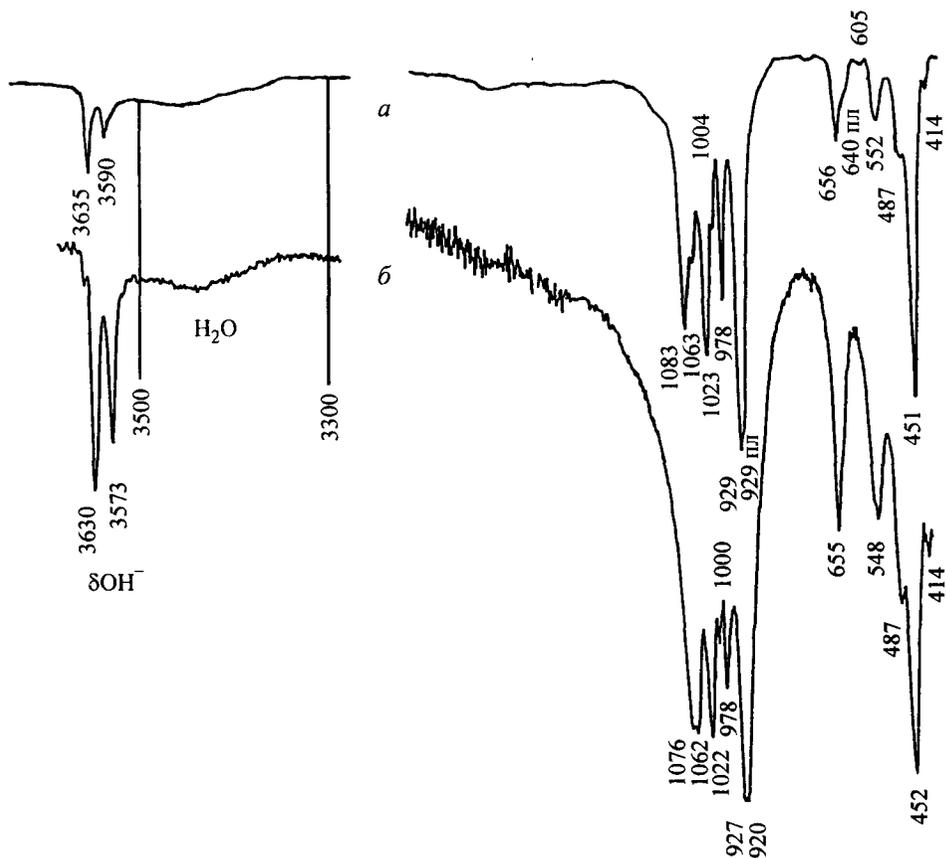


Рис. 1. ИК-спектры фошагита из Крестмора (а) и Йоко-Довыренского массива (б).

Fig. 1. IR spectra of foshagite from Crestmore (a) and Ioko-Dovyrensky massif (b).

Таблица 3

Рентгенограммы образцов кальциевых гидросиликатов из Йоко-Довыренского массива (ID) и эталонов сравнения

X-ray powder patterns of calcium hydrosilicates from Ioko-Dovyrensky massif (ID) and the comparison standard specimens

Фошагит ID Foshagite ИД-77 Гинье CuK α		Фошагит Crestmore, обр. 88383 ММ РАН Гинье CuK α		Гиллебрандит Velardena, обр. 51745 ММ РАН Гинье CuK α		Гиллебрандит Hillebrandite ID ИД-108 Дифрактометр CuK α		Фошагит Crestmore JDSPTS 11-94		Гиллебрандит Velardena (Heller, Taylor, 1956)		Монтichelлит 11-353	
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
				2	8.18	4	8.2	30	10.0	5	8.2		
3	6.71	1	6.75	1	6.74	3	6.68	70	6.8	2	6.7		
				2	5.90	10	5.56			3	5.8	15	5.56
4	4.96	4	4.94 ^{Sc}	1разм	4.94	52	4.78 ^B	70	4.95	9	4.76	1	4.80
1	4.78 ^B			6	4.766	4	4.44					5	4.65
4	4.18					28	4.19					35	4.19
		1	4.09	4	4.053	5	4.08			5	4.06		
		4	3.895										
3	3.845					14	3.842					10	3.845
8	3.637					58	3.633					40	3.637
		1	3.625										
7	3.532	7	3.530	7	3.537	8	3.555	20	3.56	5	3.52		
3	3.507	4	3.511										
		8	3.454										
4	3.426			8	3.388								
9	3.361	8	3.360			16	3.363	70	3.37	9	3.33		
7	3.309	4	3.304										
8	3.259	6	3.253	1	3.252			50	3.25				
2	3.214	1	3.208										
7	3.188	5	3.178			34	3.187					15	3.188
5	3.151					8	3.159						
		4	3.092			7	3.043						
4	3.027 ^C	2	3.034 ^{C,Sc}	10	3.036 ^C	14	3.028 ^C			8	3.02		
				10	3.013								
10ш	2.946	10	2.944	9	2.948								
						100	2.935					35	2.935
				10ш	2.919								
8	2.889	4	2.885					100	2.92	10	2.92		
				9	2.826	14	2.836			8	2.82		
9	2.799	10	2.790	9	2.770	20	2.784	30	2.79	8	2.76		
2	2.753												
		10	2.729			5	2.722						
				2	2.708	6	2.698 ^{Sp}			3	2.70		

Таблица 3 (продолжение)

Фошагит ID Foshagite ИД-77 Гинье CuK α		Фошагит Crestmore, обр. 88383 ММ РАН Гинье CuK α		Гиллебрандит Velardena, обр. 51745 ММ РАН Гинье CuK α		Гиллебрандит Hillebrandite ИД ИД-108 Дифрактометр Diffractometer CuK α		Фошагит Crestmore JDSPS 11-94		Гиллебрандит Velardena (Heller, Taylor, 1956)		Монтичеллит 11-353	
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
		2	2.678	6	2.682			10	2.68				
10	2.663	9	2.641	7	2.634	80	2.667			5	2.63	100	2.666
9	2.584					56	2.589					40	2.586
8	2.541					23	2.546					20	2.543
		3	2.536										
6	2.483	5	2.474			3	2.475	50	2.48				
4	2.453	4	2.452	3	2.463					6	2.45		
5	2.433	4	2.432										
6	2.403					37	2.398					25ш	2.401
7	2.396												
1	2.381	0.5	2.377	7	2.385								
4	2.365 ^B			6	2.369	17	2.368 ^B			8	2.37		
5	2.352	1	2.349									7	2.355
2	2.337							10	2.33				
10	2.310	10	2.308					70	2.30				
2	2.280												
		5	2.268	8	2.264	8	2.273			7	2.26		
0.5	2.247	2	2.240			16	2.249	10	2.25				
2	2.223			9	2.240					7	2.23		
4	2.205					8	2.209					5	2.209
9	2.161	10	2.159	1	2.154	2	2.161	70	2.16				
1	2.135												
9	2.111	6	2.111	3	2.106			20	2.12	1	2.10		
2	2.089					4	2.089	20	2.09				
3	2.076	3	2.070			9	2.071	30	2.07				
				8	2.061					7	2.06		
{9	2.052												
{8	2.043	5	2.047										
				2	2.037								
2	2.017												
		1	2.007	2	2.007								
				1	1.994			10	1.99				
2	1.987												
3	1.971	2	1.975					11	1.971				
				8	1.961					7	1.96		
2	1.954	6	1.952										
0.5	1.932			5	1.927	8	1.937	10	1.93	6	1.93		
5	1.913	3	1.911	3	1.908	9	1.918					15ш	1.916
3	1.892	4	1.897										
		1	1.875	8	1.869	14	1.879	5	1.86	7	1.87		
1	1.849	10	1.847	7	1.854	5	1.864	70	1.84	6	1.85		
10	1.830	10	1.829					5	1.82				

Таблица 3 (продолжение)

Фошагит ID Foshagite ИД-77 Гинье CuK α		Фошагит Crestmore, обр. 88383 ММ РАН Гинье CuK α		Гиллебрандит Velardena, обр. 51745 ММ РАН Гинье CuK α		Гиллебрандит Hillebrandite ID ИД-108 Дифрактометр Diffractometer CuK α		Фошагит Crestmore JDSPS 11-94		Гиллебрандит Velardena (Heller, Taylor, 1956)		Монтichelлит 11-353	
<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>I</i>	<i>d</i> , Å
10	1.816	3	1.813	10ш	1.815	51	1.817			8	1.81	30	1.818
2	1.805	3	1.805										
3	1.792 ^B					5	1.796 ^B						
		Зраз	1.786										
4	1.775					7	1.778					10	1.777
								50	1.77				
5	1.766	4ш	1.763	1	1.768								
	1.750			7	1.750	7	1.759						
10	1.743	9	1.741			9	1.752	90ш	1.74	6	1.75	7	1.751
	1.737	8	1.738	4	1.732								
9	1.720	9	1.726			16	1.723			5	1.72	15	1.721
3	1.714	3	1.714	7	1.717	6	1.705						
Еще 40 линий до 1.167		Еще 31 линий до 1.182		Еще 30 линий до 1.170		Еще 6 линий до 1.574							

Примечание. В обр. 88383 методом ИКС обнаружена незначительная примесь скоутита и водного оксалата. Возможен вклад: В — брусита, С — кальцита, Sp — спуррита, Sc — скоутита. ММ РАН — Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН.

тельная интенсивность линий). ИК-спектры фошагита из Крестмора лучше разрешены — более совершенная структура минерала. В образцах из Йоко-Довырена наблюдаются небольшие (до 10—20 см⁻¹) изменения значений волновых чисел линий δOH^- . По всей видимости, фошагит имеет несколько структурных модификаций; их изучение представляет самостоятельную задачу.

В составе фошагита из Йоко-Довыренского массива (табл. 1) отношение Ca/Si = 4/3 соответствует отношению Ca/Si в известной формуле Ca₄Si₃O₉(OH)₂.

Дериватография (20 град/мин) показала (рис. 2), что группы OH в фошагите из Йоко-Довыренского массива (образец ИД-207) удаляются в один этап (500—840 °С). Потеря веса выше 500 °С (5.62 мас.%) в пересчете составляет 2.77 группы OH на известную формулу. В образце NMNH93416TYPE фошагита из Крестмора, содержащем 15 мас.% гиллебрандита, наблюдается 3 четко выраженных этапа потерь (рис. 2). Расчет показал, что потеря веса в интервале 500—840 °С в пересчете на фошагит — 4.27 мас.% (стехиометрия минерала). Потеря массы в интервале 350—500 °С связана с дегидратацией гиллебрандита и составляет в пересчете 9.46 мас.% от его количества (стехиометрия минерала). На наиболее низкотемпературном этапе (~110—350 °С) потеря веса существенно больше, чем потеря веса гиллебрандитом на своем «характеристическом» пике (рис. 2). Ни дифрактография, ни ИК-спектроскопия других минералов в образце не выявили. Поэтому потеря массы несомненно связана с фошагитом, она составляет 1.3 молекулы H₂O в пересчете на его формулу. Практически полное отсутствие потерь ниже 100 °С и узкий характер пика ДТГ с максимумом 130 °С указывают на то, что имеет место энергетический порог отрыва сорбированных молекул H₂O, транспорт паров без заметных диффузионных затруднений, а молекулы воды имеют, по всей видимости, в основном 3—4 водородные связи («удерживаются» ими) (Задов и др., 2001). Такое количество молекул воды с 3—4 водородными связями не может сосредоточиться только на поверхности измельченных кристаллов. По всей видимости, структура изучаемого минерала имеет цеолитопо-

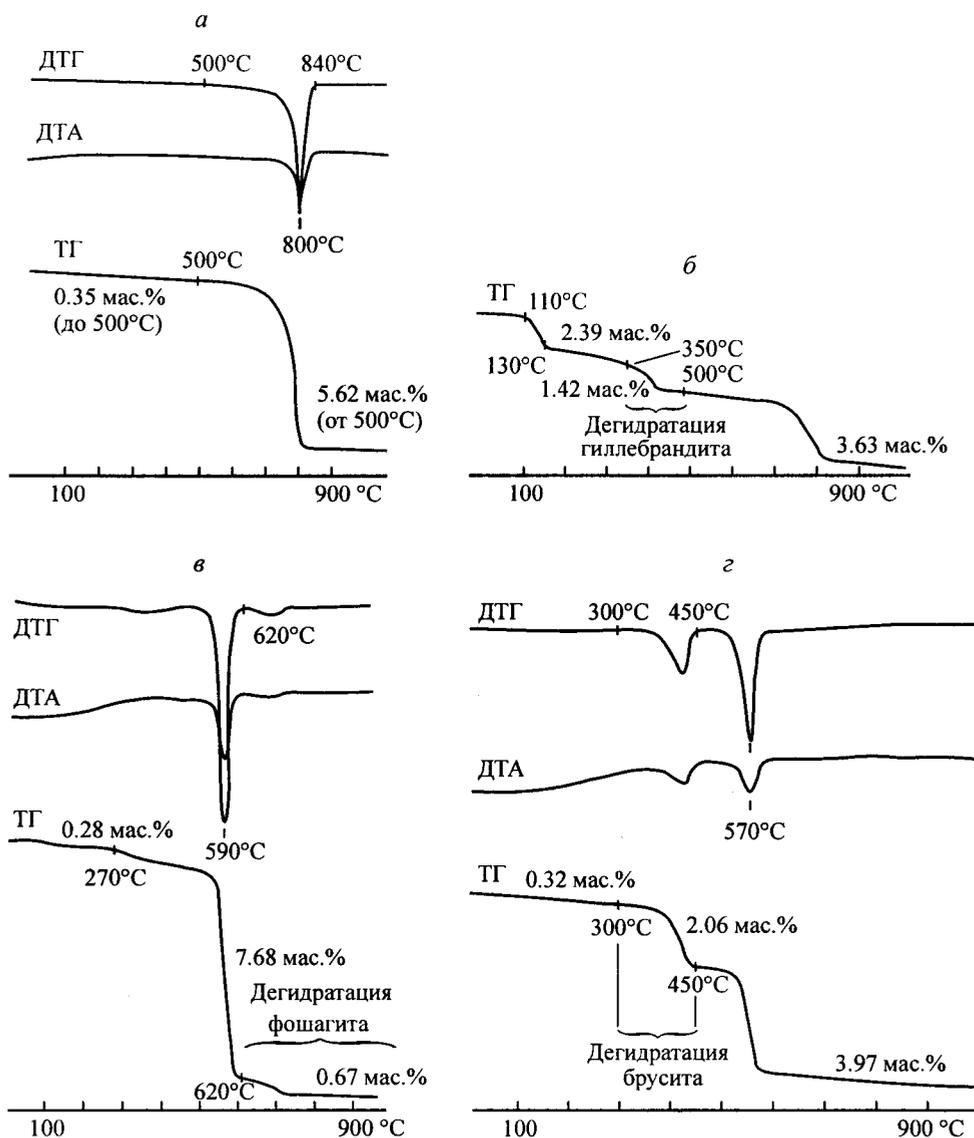


Рис. 2. Дериватограммы (20 град/мин) фошагита и гиллебрандита.

Фошагит: Йоко-Довыренский массив (а), Крестмор (примесь гиллебрандита) (б). Гиллебрандит: Велардена (примесь фошагита) (в), Йоко-Довыренский массив (фарфоровидная зона с монтичеллитом и бруситом) (з). Аналитик П. М. Карташов (ИГЕМ РАН).

Fig. 2. Derivatograms (20 grad/min) of foshagite and hillebrandite.

добные каналы. Суммы молекул воды и гидроксильных групп в фошагите из Крестмора (3.3) и Йоко-Довыренского массива (2.94) близки. В фошагите из Йоко-Довыренского массива цеолитоподобные каналы «перекрыты», возможно, размещающимися в них «дополнительными» гидроксильными группами.

В фарфоровидной зоне обр. ИД-К фошагит частично представлен досковидными кристаллами размером $\sim 30\text{--}40$ мкм в поперечнике (рис. 3). Символы их форм определены измерением на столике микроскопа углов между ребрами кристалла; расхождение замеренных и расчетных углов для ограничения кристалла не более $1\text{--}2^\circ$.

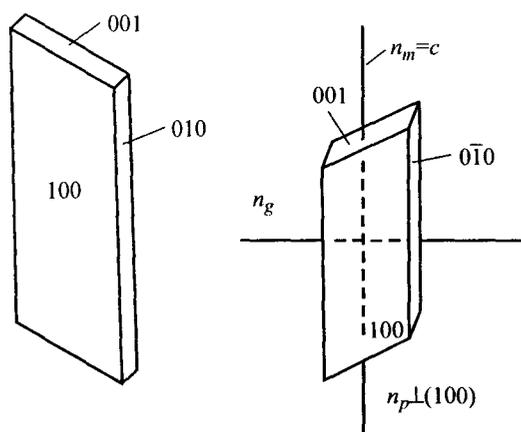


Рис. 3. Идеализированный кристалл фошагита из Йоко-Довыренского массива и его оптические ориентировки.

Fig. 3. Idealized crystal of foshagite from Ioko-Dovyrensky massif and its optical orientation.

Данные по оптике фошагита в литературе крайне противоречивы из-за того, что фошагит и гиллебрандит между собой долго путали (схожие порошкограммы, постоянные сростания друг с другом); наиболее полная сводка приведена в работе Л. Хеллера и Х. Тейлора (Heller, Taylor, 1956). Оптические свойства фошагита из Йоко-Довырена и Крестмора близки: оптически отрицательный ($2V_{изм} > 45^\circ$), N_m — по удлинению кристаллов. Погасание прямое. Показатели преломления и плотность приведены в табл. 4, плотность определена методом уравнивания агрегатов кристаллов в тяжелых жидкостях. Оптическая ориентировка кристаллов из Йоко-Довыренского массива показана на рис. 3. Спайность в них отсутствует.

Гиллебрандит из Йоко-Довыренского массива не отличается от гиллебрандита из других проявлений (табл. 1, 3; рис. 2). Его состав отвечает формуле $Ca_2SiO_3(OH)_2$ (небольшое превышение по анализу содержания групп OH может быть связано с методом их определения по дефициту в сумме анализа). У гиллебрандита разных месторождений [Аримао-Норте (Сьен-Фуэгос, Куба), Велардена (Мексика)] отношение Ca/Si строго равно 2/1 (неопубликованные данные А. Е. Задова и М. А. Лицарева).

Таблица 4

Показатели преломления и плотность фошагита
Refraction indices and density of foshagite

Месторождение Occurrence	Образец	n_p	n_m	n_g	D , г/см ³
Крестмор Crestmore	по: Heller, Taylor, 1956	1.597	1.603	1.605	2.73(1)
	NMNH 93416 TYPE	1.595(2)	1.600(2)	1.603(3)	
	88383 MM РАН		1.600(2)	1.604(2)	2.74(1)
	88364 MM РАН				2.74(1)
Йоко-Довыренский массив	Зона розового фошагита The zone of pink foshagite (ИД-207)	1.597(2)	1.602(2)	1.604(2)	2.77(2)
Йоко-Довырен	Фарфоровидная зона The porcelain-like zone (ИД-К)	1.592(3)	1.600(3)	1.605(2)	

Примечание. Обр. NMNH 93416 TYPE — «типовой риверсайдит» из Смитсоновского музея (США) (Задов и др., 2001). MM РАН — Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН.

Минералы с тоберморитоподобной структурой

Обнаруженные в диффузионных скарнах низкотемпературные кальциевые гидросиликаты оказались представленными минералами с тоберморитоподобной структурой. Наиболее ими обогащены участки по границам скарновых зон. Обнаружено замещение этими минералами зерен кальцита.

Преобладает *пломбиерит* $\text{Ca}_3\text{Si}_6(\text{O},\text{OH})_{17} \times n\text{H}_2\text{O}$ с более низкой температурой образования, чем тоберморит. Состав фарфоровидной зоны, богатой пломбиеритом (обр. ИД-К) (мас. %): ~30—40 пломбиерита, ~40—60 фошагита, ~10—20 монтчеллита. Пломбиерит из Йоко-Довыренского массива характеризуется следующими линиями дифрактограммы (Cu K_α), не наложившимися на линии других минералов, d , Å (λ): 14.0(100), 3.26(82), 3.075(21), 3.002(9), 2.806(62), 2.627(10), 2.207(4), 2.093(9), 1.835(14). *Тоберморит* $\text{Ca}_3(\text{Si},\text{Al})_6(\text{O},\text{OH})_{17} \times n\text{H}_2\text{O}$ обнаруживается рентгенографически в малом количестве вместе с фошагитом и пломбиеритом.

Условия образования фошагита и гиллебрандита

Фошагит — более высокотемпературный минерал, чем гиллебрандит, и образовался раньше него. При 1 кбар давления воды он стабилен ниже 630 и выше 300 °С, а между 350 и 300 °С он может сосуществовать с гиллебрандитом (данные Н. F. W. Taylor, 1960 г.; по: Минералы, 1974). Условия флюидного давления в мервинитовой фации глубинности оцениваются ~0.5 кбар, так что поля стабильности этих минералов должны сместиться на ~20—30 °С в более низкотемпературную область (Перцев и др., 1975). Температурный интервал образования первоначальных скарнов на Йоко-Довырене оценен в 820—855 °С по парагенезисам мервинит + периклаз и диопсид + монтчеллит. Регрессивный парагенезис монтчеллит + спуррит возможен ниже 820 °С. По мере остывания флюидов происходят более низкотемпературные преобразования: акерманит → волластонит + монтчеллит (<710 °С), появление фошагита <600 °С, замещение периклаза бруситом <450 °С, замещение кальциевых силикатов гиллебрандитом <330 °С.

Образцы фошагита и гиллебрандита из Йоко-Довыренского массива переданы в Минералогический музей РАН.

Авторы благодарят Э. Г. Конникова и Е. В. Кислова, сделавших ряд важных замечаний по работе, а также Н. И. Органову, Л. А. Левицкую, И. В. Пекова, П. М. Карташова, А. В. Мохова, Л. А. Паутова и И. Н. Кислову, оказавших большую помощь в проведении исследований минералов.

Список литературы

- Минералы. Диаграммы фазовых равновесий. Вып. 1* // Под ред. Ф. В. Чухрова. М.: Наука, 1974. 512 с.
- Гурулев С. А. Условия образования мафических расслоенных интрузий. М.: Наука, 1983.
- Задов А. Е., Чуканов Н. В., Органова Н. И., Кузьмина О. В., Белаковский Д. И., Лицарев М. А., Нечай В. Г., Соколовский Ф. С. Гидратация, дегидратация, термические превращения минералов семейства тоберморита // ЗВМО. 2001. № 2. С. 26—40.
- Кислов Е. В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: Изд. Бурятского научного центра, 1998.
- Конников Э. Г. Дифференцированные гипербазит-базитовые комплексы докембрия Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1986. 217 с.
- Перцев Н. Н., Жуковская Т. Н., Булатов В. К. Исследование стабильности мервинита и продуктов его низкотемпературного разложения. Метасоматиты и оруденение. М.: Наука, 1975. С. 106—122.
- Перцев Н. Н., Шабынин Л. И. Скарновые, карбонатные и бруситовые ксенолиты Йоко-Довыренского массива. Контактные процессы и оруденение в габбро-перидотитовых интрузиях. М.: Наука, 1979. С. 85—96.
- Heller L., Taylor H. F. W. Crystallographic Data for the Calcium Silicates. London, 1956. 80 p.
- Kusachi I., Henmi Ch., Henmi K. Afwillite and jennite from Fuka, Okayama Prefecture, Japan // Miner. J. 1989. Vol. 14. N 7. P. 279—292.

Поступила в редакцию
14 октября 2002 г.