

Р. А. ВИНОГРАДОВА, И. И. ПЛЮСНИНА

## СОСТАВ, СВОЙСТВА И КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ ИЗОМОРФНОГО РЯДА ФЕРРОБАБИНГТОНИТ-МАНГАНБАБИНГТОНИТ

Бабингтонит — сравнительно редкий минерал. Имеющиеся в литературе сведения о нем весьма ограничены, а некоторые вопросы, касающиеся особенностей его состава, свойств и кристаллической структуры, до сих пор в достаточной степени еще не выяснены.

Детальное изучение марганцевого бабингтонита, обнаруженного на месторождениях в Восточном Саяне [3], при сопоставлении всех вновь полученных и имеющихся литературных данных позволяет констатировать наличие изоморфного ряда ферробабингтонит-манганбабингтонит и одновременно наметить зависимость свойств минералов этого ряда от их состава. Изучение инфракрасных спектров, кроме того, дает основание рассматривать все члены ряда специфическими по своей кристаллической структуре.

Ниже приводятся основные сведения, характеризующие условия нахождения, морфологию, состав, свойства и кристаллохимические особенности вновь установленного изоморфного ряда минералов.

Условия нахождения. Немногочисленные находки бабингтонита установлены в кислых и основных изверженных породах, в гранитных пегматитах, скарнах и среди метаморфических пород. Несмотря на разнообразие геологических условий нахождения минерала, он постоянно наблюдается в ассоциации с типичными низкотемпературными минералами, образуя совместно с ними прожилки в перечисленных породах. Наблюдавшиеся минеральные ассоциации бабингтонита сведены в табл. 1.

Морфология агрегатов и кристаллов. Бабингтонит чаще наблюдается в мелкозернистых агрегатах, сложенных зернами короткостолбчатого или таблитчатого габитуса. Хорошо оформленные кристаллы встречаются реже и отмечались в месторождениях Арендаль (Норвегия), Бавено (Италия), Уксбридж, Вобурн, Дирфилд и Сомервилль (США), а также вблизи Норильского месторождения (СССР). Размер кристаллов, как правило, не превышает 1—5 мм, однако вблизи Норильского месторождения описаны кристаллы бабингтонита, достигающие 3—4 см.

## Геологические условия нахождения и спутники бабингтонита

Условия нахождения	Минералы-спутники	Местонахождение
Кислые и основные изверженные породы	эпидот, хлорит, датолит, пренит, кварц, кальцит, цеолиты (натролит, гейландит, шабазит), пирит	Вобурн (США) [31, 33, 34] Соммервилль (США) [29, 31] Дирфильд (США) [31] Холиок (США) [31] Патерсон (США) [31] Пассанк Кантри (США) [22] Вестфильд (США) [32]
Гранитные пегматиты	адуляр, эпидот, кварц, пренит, цеолиты, гематит, сфалерит, пирит	Бавено (Италия) [31] Уксбридж (США) [31] Вобурн (США) [31, 33, 34] Виргиния (США) [19]
Саянские железорудные	альбит, эпидот, кварц, кальцит	Арендаль (Норвегия) [25, 31, 37] Рудный Каскад (СССР: Восточный Саян, Краснокаменная группа) [3] Одинокое (СССР: Восточный Саян, Краснокаменная группа)
Щелочные металлические	кварц, кальцит	Нассау (Германия) [31] Якуки Майн (Япония) [31, 36]
Кварцитоносные	кварц, кальцит	Заравшанский хребет (СССР) [7, 12] Алай и Тянь-Шань (СССР) [6]
Метаморфические породы (гнейсы)	эпидот, кварц, кальцит, цеолиты (натролит, шабазит)	Букланд (США) [21, 31] Атол (США) [30, 31]

Кристаллы представляют собой комбинацию небольшого количества простых форм, обычно присутствующих во всех изучавшихся образцах, и имеют триклинную симметрию. Наиболее богатыми гранями оказались кристаллы из месторождения Вобурн (рис. 1), в которых было констатировано 19 и изучено 15 простых форм [33, 34]. Наиболее распространенными и характерными формами бабингтонита являются  $\{001\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{1\bar{1}0\}$  и  $\{111\}$ . Кристаллы обычно имеют таблитчатый или вытянутый габитус, реже — короткостолбчатый. Как показали Пэлач и Гоньер [31], корреляционной связи между габитусом кристаллов и условиями нахождения бабингтонита не наблюдается. Двойники не отмечались.

Химический состав, параметры ячейки и теоретическая формула бабингтонита. Разновидности. Вопрос о химическом составе и конституции бабингтонита приходится рассматривать в исторической последовательности, так как по мере совершенствования методик анализа состав его уточнялся, а формула видоизменялась.

Имеющиеся в литературе анализы показывают, что главными компонентами в составе минерала являются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а в

отдельных случаях также и  $MnO$ . В содержании связанной воды отмечались значительные колебания. В анализах, выполненных до 1923 г., определение связанной воды или отсутствовало, или установленное ее количество было незначительным [20, 21, 25, 29, 30]. На этом основании бабингтонит считался безводным силикатом кальция и железа. Повышенное же содержание воды в отдельных анализах объяснялось частичной гидротацией минерала в процессе его изменения [1, 17]. Эмпирическая формула бабингтонита, выводившаяся без учета воды, имела несколько вариантов, сводка которых приведена у Дельтера [20]. Разнообразие вариантов обуславливалось, с одной стороны, качеством анализов, а с другой — местом в классификации, которое отводилось бабингтониту исследователями. В целом же формула бабингтонита по существу сводилась к комбинации компонентов  $(Ca, Fe, Mn) SiO_3$  и  $Fe_2 (SiO_3)_3$  — главных составных частей минерала. В таком упрощенном и в то же время обобщенном варианте приводится состав бабингтонита у Дана [5]. А. Г. Бетехтин [1] приводит для бабингтонита формулу  $(Ca, Fe^{+2}, Fe^{+3}) SiO_3$ . Формула, помещенная в таблицах Штруца [17], хотя и несколько уточнена, но также не учитывает воду в составе минерала и имеет вид  $(Ca, Fe^{+2}, Fe^{+3})_{<5}[Si_5O_{15}]$ .

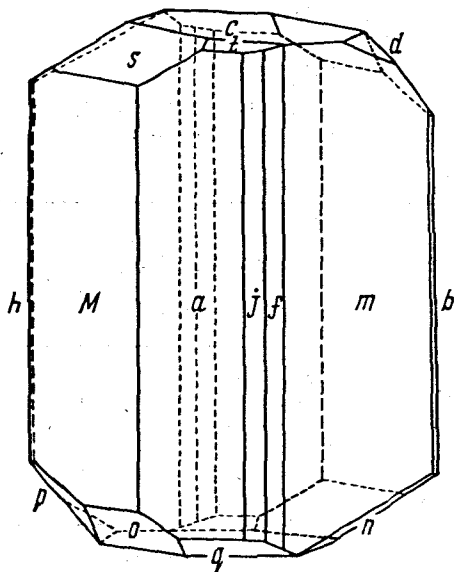


Рис. 1. Кристалл бабингтонита из месторождения Вобурн (34):  $c$  (001),  $b$  (010),  $a$  (100),  $m$  (110),  $j$  (210),  $j$  (310),  $M$  ( $\bar{1}\bar{1}0$ ),  $h$  ( $\bar{1}\bar{2}0$ ),  $d$  (011),  $n$  ( $0\bar{1}1$ ),  $r$  ( $\bar{1}01$ ),  $q$  ( $\bar{1}01$ ),  $s$  ( $\bar{1}\bar{1}1$ ),  $o$  ( $\bar{1}\bar{1}1$ ),  $p$  ( $\bar{1}21$ )

Анализы бабингтонита, прецизионно выполненные позднее Мервном [37] и Гоньером [31], показали, что вода является существенной составной частью минерала, т. е. бабингтонит представляет собой водный силикат кальция и железа, присутствующего в двух- и трехвалентной форме. Пэлач и Гоньер [31], основываясь на пяти из этих анализов, вывели эмпирическую формулу минерала, имеющую следующий вид:  $Ca_2Fe^{+2}Fe^{+3}[Si_5O_{14}](OH)$ . Окончательно же формула бабингтонита была установлена после точного определения параметров элементарной ячейки минерала.

Первое определение параметров элементарной ячейки бабингтонита было сделано в 1928 г. Госнером и Мусгнугом на кристаллах из месторождения Арендаль [23]. Затем, в 1937 г., параметры были определены также Ричмондом на кристаллах из месторождения Вобурн [34]. Данные этих авторов (табл. 2) сходны в отношении величины  $a$ ,  $b_0$  и  $c_0$ , но значительно отличаются величинами углов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ . Как было установлено Ричмондом [34], это связано с различием метода, примененного для определения параметра, что в свою очередь обусловило различную установку кристаллов бабингтонита. В графической форме Ричмонд показал соотношение между элементарной ячейкой, найденной им и предыдущими исследованиями.

Параметры элементарной ячейки бабингтонита из месторождения Рудный Каскад, определенные Ю. К. Кабаловым [3], оказались близки-

ми параметрам, установленным Ричмондом (см. табл. 2). Небольшие различия, по-видимому, связаны с присутствием повышенных количеств марганца в составе бабингтонита из месторождения Рудный Каскад.

Учитывая параметры элементарной ячейки бабингтонита, Ричмонд рассчитал теоретическую формулу минерала для пяти анализов, выполненных Гоньером [31]. Согласно Ричмонду [34], бабингтонит имеет формулу  $\text{Ca}_4\text{Fe}_2^{+2}\text{Fe}_2^{+3}[\text{Si}_{10}\text{O}_{28}](\text{OH})_2$ , которая полностью совпадает с эмпирической, установленной ранее по этим же анализам Пэлачем и Гоньером.

Таблица 2

Параметры элементарной ячейки бабингтонита и марганцевого бабингтонита

Параметры элементарной ячейки	Бабингтонит из месторождения Арендаль; определение Госнера и Мусгунга [23]	Бабингтонит из месторождения Вобурн; определение Ричмонда [34]	Марганцевый бабингтонит из месторождения Рудный Каскад; определение Ю. К. Калалова [3]
Сингония триклинная			
$a_0$	7,56Å	7,39Å	6,88Å
$b_0$	12,45Å	11,52Å	11,80Å
$c_0$	6,74Å	6,61Å	6,77Å
$a_0:b_0:c_0$	0,607:1:0,541	0,642:1:0,574	0,583:1:0,574
$\alpha$	86°12'	91°48'	90°30'
$\beta$	93°51'	93°48'	93°30'
$\gamma$	112°92'	103°54'	104°54'

К настоящему времени в литературе опубликовано 17 анализов бабингтонита [3, 4, 20, 21, 24, 25, 29, 31, 32, 37]. Пересчет их на формулу показал, однако, что только 7 из них можно признать отвечающими составу минералов. Некоторая часть анализов [20 (анализы № 1, 2, 4, 5)], по-видимому, вообще относится не к бабингтониту, а к другим минералам. Остальные анализы [20 (анализы № 3, 6), 4, 21, 25, 30], которые несомненно относятся к бабингтониту, следует все же признать неудовлетворительными по разным причинам: 1) отсутствует определение веса или количество ее явно занижено [20 (анализы № 3, 6), 4, 25]; 2) нарушено соотношение между FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [20 (анализ № 3)]; 3) определено только Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, определение FeO отсутствует [21]; 4) несколько искажены соотношения между главными компонентами, что в отдельных случаях может быть объяснено загрязненностью анализируемого материала примесями других минералов [20 (анализ № 6), 4, 30].

В табл. 3 приведены 8 анализов бабингтонита (7 опубликованных ранее и 1 новый анализ) и формулы, рассчитанные по кислородному методу [2]. Как показывают эти анализы, в составе минерала могут присутствовать изоморфные примеси Ti, Al, Mn<sup>+2</sup>, Mg, Na и K, количество которых, за исключением Mn, обычно невелико. MnO присутствует постоянно, но количество ее, как правило, не превышает 1—2 весовых процента. Однако в бабингтоните из месторождений Краснокаменской группы в Восточном Саяне (анализы № 7 и 8) содержание MnO составляет 3,01 и 7,91%. Ранее повышенное количество MnO отмечалось в бабингтоните из месторождения Арендаль — 7,91% [20 (анализ № 3)] и 6,62% [25], а также из месторождения Нассау 3,22% [20 (анализ № 6)]. Хотя высокие содержания MnO в последних трех образцах вызвали сомнения [37], находки бабингтонита в месторождениях Восточного Саяна позволяют с достоверностью говорить о существовании в природе бабингтонита с высоким содержанием марганца.

Химический состав (в вес. %) и свойства минералов изоморфного ряда ферробабингтонит — манганбабингтонит

Химический состав (в вес. %)	Обр. № 1. месторожд. Вестфилд (США), аналитик Гоньер [32]	Обр. № 2. месторожд. Сомервилль (США), аналитик Гоньер [31]	Обр. № 3. месторожд. Холиоок (США), аналитик Гоньер [31]	Обр. № 4. месторожд. Дирфилд (США) аналитик Гоньер [31]	Обр. № 5. месторожд. Вобурн (США) аналитик Гоньер [31]	Обр. № 6. месторожд. Арендаль (Норвегия), аналитик Мервин [37]	Обр. № 7. месторожд. Одиночное (СССР, Восточный Саян, Краснокамская группа), аналитик В. А. Сычкова [3]	Обр. № 8. месторожд. Рудный Каскад (СССР, Восточный Саян, Краснокамская группа), аналитик В. А. Сычкова [3]
SiO <sub>2</sub> . . . . .	52,32	52,12	52,44	52,40	52,46	52,80	51,84	51,85
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,15	0,31	нет	—	—	0,29	0,32	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,95	0,08	0,23	нет	0,19	2,41	0,95	0,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	13,42	13,56	14,43	14,40	14,74	13,17	13,62	12,26
FeO . . . . .	10,65	10,78	10,12	10,09	9,32	7,68	7,88	4,52
MnO . . . . .	0,31	0,76	1,03	1,13	1,21	1,89	3,01	7,91
MgO . . . . .	0,59	0,60	0,65	0,47	0,95	0,92	0,27	0,60
CaO . . . . .	19,88	20,44	19,67	19,71	19,73	19,19	19,85	19,00
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,27	0,09	0,08	0,21	—	0,39	—	0,25
K <sub>2</sub> O . . . . .	отсутств.	нет	нет	нет	0,14	0,09	не опр.	0,09
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	1,36	1,33	1,27	1,23	1,21	0,91	1,54	1,95
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	—	—	—	—	—	—	0,19	0,26
Cl . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	0,06
F . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	0,12
CO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	0,13
—O=Cl <sub>2</sub> , F <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	0,06
Сумма . . . . .	99,81	100,07	99,82	99,64	99,95	99,84	99,47	99,65
Мд. вес. . . . .	—	3,342	3,309	3,340	3,368	3,359	3,479	3,452
						1,752	1,759±0,001	1,746±0,001 1,730±0,002

Сумма . . . . .	99,81	100,07	99,82	99,64	99,95	99,84	99,47	99,65
Уд. вес. . . . .	—	3,342	3,369	3,340	3,368	3,359	3,479	3,452
$n_g$ . . . . .	—	—	—	—	1,753	1,752	1,750 ± 0,001	1,746 ± 0,001
$n_m$ . . . . .	—	—	—	—	1,731 ± 0,003	1,730	1,734 ± 0,002	1,730 ± 0,002
$n_p$ . . . . .	—	—	—	—	1,720	1,717	1,719 ± 0,001	1,716 ± 0,001
$(N_g - N_p)$ вычисл. . . . .	—	—	—	—	0,033	0,035	0,031	0,031
(+) 2V измер. . . . .	—	—	—	—	76 ± 2	76°	—	80 ± 2°
(+) 2V вычисл. . . . .	—	—	—	—	70°	75°	88°	86°
плеохроизм:								
по $N_g$ . . . . .	—	—	—	—	бурый	—	бурый	розовато-бурый
по $N_m$ . . . . .	—	—	—	—	лиловый	—	—	слабо-розовый, почти бесцветный
по $N_p$ . . . . .	—	—	—	—	темно-зеленый	—	густой зеленый	зеленый

Формулы минералов изоморфного ряда ферробабингтонит — манганбабингтонит, рассчитанные на 30 (O, OH)

Бабингтонит (ферробабингтонит) (O, OH)

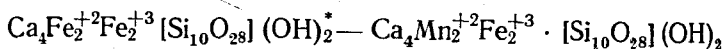
- 1)  $(Ca_{4,05}Na_{0,10})_{4,15}(Fe_{1,69}^{+2}Mg_{0,14}Mn_{0,05}^{+2})_{1,85}(Fe_{1,92}^{+3}Al_{0,16}Ti_{0,02})_{2,10}(Si_{9,95}Al_{0,05})_{10}O_{28,27}OH_{1,73}$ ;
- 2)  $(Ca_{4,18}Na_{0,02})_{4,21}(Fe_{1,72}^{+2}Mg_{0,17}Mn_{0,12}^{+2})_{2,01}(Fe_{1,95}^{+3}Ti_{0,04})_{1,93}(Si_{9,95}Al_{0,02})_{9,9}O_{28,31}OH_{1,69}$ ;
- 3)  $(Ca_{4,02}Na_{0,02})_{4,05}(Fe_{1,61}^{+2}Mg_{0,19}Mn_{0,17}^{+2})_{1,96}(Fe_{2,07}^{+3}Al_{0,05}^{+3})_{2,12}Si_{10}O_{28,30}OH_{1,62}$ ;
- 4)  $(Ca_{4,05}Na_{0,08})_{4,13}(Fe_{1,62}^{+2}Mn_{0,18}^{+2}Mg_{0,13})_{1,93}Fe_{2,08}^{+3}Si_{10,04}O_{28,45}OH_{1,57}$ ;
- 5)  $(Ca_{4,03}Na_{0,05})_{4,08}(Fe_{1,48}^{+2}Mg_{0,27}Mn_{0,20}^{+2})_{1,95}(Fe_{2,11}^{+3}Al_{0,04})_{2,15}Si_{10}O_{28,46}OH_{1,54}$ ;
- 6)  $(Ca_{3,99}Na_{0,14}K_{0,02})_{4,05}(Fe_{1,22}^{+2}Mn_{0,30}^{+2}Mg_{0,26})_{1,79}(Fe_{1,86}^{+3}Al_{0,54}Ti_{0,04})_{2,44}Si_{9,99}O_{28,85}OH_{1,15}$ ;

Марганцевый бабингтонит (манганбабингтонит)

- 7)  $Ca_{4,06}(Fe_{1,26}^{+2}Mn_{0,50}^{+2}Mg_{0,08})_{1,84}(Fe_{1,96}^{+3}Al_{0,10}Ti_{0,05})_{2,11}(Si_{9,89}Al_{0,11})_{10}O_{28,04}OH_{1,96}$ ;
- 8)  $(Ca_{3,85}Na_{0,09}K_{0,02})_{3,91}(Mn_{1,28}^{+2}Fe_{0,72}^{+2}Mg_{0,17})_{2,17}(Fe_{1,76}^{+3}Al_{0,02}Ti_{0,02})_{1,80}(Si_{9,81}Al_{0,11})_{10}O_{27,44}OH_{2,4}F_{0,0}Cl_{0,01}$ .

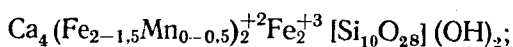
Как показывают пересчеты анализов бабингтонита из месторождений Восточного Саяна на формулу (см. табл. 3), изоморфизм между  $Fe^{+2}$  и  $Mn^{+2}$  может осуществляться в широком интервале, вплоть до преобладания  $Mn^{+2}$  над  $Fe^{+2}$ . Это обстоятельство дает основание говорить о возможном существовании в природе марганцевого члена в намечающемся изоморфном ряду. Поскольку примеси  $MnO$  в составе минерала в количестве до 2 весовых процентов обычны, по-видимому, целесообразно выделять марганцевую разновидность бабингтонита с более высоким содержанием  $MnO$ .

Исходя из вышесказанного, представляется целесообразным предложить следующую номенклатуру в изоморфном ряду:

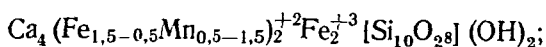


с соответствующими пределами колебаний между  $Fe^{+2}$  и  $Mn^{+2}$  в формуле:

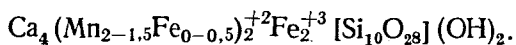
1) бабингтонит (ферробабингтонит) — железистый член изоморфного ряда



2) марганцевый бабингтонит (манганбабингтонит) — промежуточный член изоморфного ряда



3) конечный, марганцевый, член изоморфного ряда



**Рентгенометрическая характеристика.** Рентгенометрические данные были получены для бабингтонита, найденного вблизи интрузии Норильск-1 [4], и для марганцевого бабингтонита из месторождения Рудный Каскад [3]. Порошкограммы этих образцов оказались очень близкими.

Для образцов из месторождений Восточного Саяна (см. табл. 3) в одних и тех же условиях были сняты дифрактограммы с целью изучения возможного влияния изоморфного замещения двухвалентного железа двухвалентным марганцем на межплоскостные расстояния. Естественно, что для полноты картины и определенности выводов следовало бы в тех же условиях получить дифрактограмму и для обычного бабингтонита с наименьшим содержанием  $MnO$ , но, к сожалению, таких образцов в нужном количестве достать не удалось.

Как видно из табл. 4, оба изучавшихся образца обнаруживают большое сходство: подавляющее большинство линий в них дублируется, интенсивности линий или точно совпадают, или, изменяясь, соответствуют друг другу в общей картине. Однако при соответствии межплоскостных расстояний в целом намечается все же их вполне закономерное уменьшение (и соответственно увеличение углов  $\theta$ ) в образце с меньшим содержанием марганца. Хотя эти изменения (в среднем на 3—4° в углах  $\theta$  и на 0,008—0,004  $kX$  в величине  $d$ ) в большинстве случаев лежат в пределах ошибки метода, они наблюдаются лишь в образце с меньшим содержанием марганца, и это, очевидно, не является случайным.

\* Формулы даются по Ричмонду, но можно все коэффициенты в них сократить на два.

Таблица 4

Дифрактограммы образцов марганцевого бабингтонита из месторождений Восточного Саяна (Cu—излучение, Ni—фильтр;  $V=35 \text{ KV}$ ,  $I=12 \text{ mA}$ , скорость вращения счетчика— $1 \text{ град/мин}$ )

l	$\frac{d}{n}$	l	$\frac{d}{n}$	$\frac{d}{n}$		$\frac{d}{n}$	
				1	2	1	2
6	6,765	3	6,765			1	1,763
9	6,548	6	6,548	2	1,722	—	—
1	4,126	1	4,120	2	1,705	1	1,705
1	4,034	1	4,034	1	1,681	1	1,678
2	3,682	1	3,677	4	1,653	3	1,653
10	3,421	6	3,417	2	1,631	2	1,630
6	3,297	5	3,297	1	1,616	—	—
—	—	1	3,2.8	2	1,573	1	1,571
2	3,127	2—3	3,127	2	1,557	1	1,557
4	3,095	7	3,091	1	1,533	1	1,532
2	3,033	1	3,023	1	1,471	1	1,469
5	2,996	8	2,987	1	1,456	1	1,456
6	2,935	10	2,926	2	1,428	2	1,426
2	2,865	2	2,853	2	1,421	1	1,416
1	2,753	—	—	4	1,389	3	1,385
3	2,721	2	2,726	2	1,365	1	1,364
1	2,615	1	2,608	1	1,318	1—1,5	1,317
2	2,552	2	2,543	—	—	1	1,272
2	2,468	2	2,451	—	—	1	1,240
4	2,436	3	2,426	1	1,232	1	1,227
3	2,189	3	2,186	1	1,216		
4	2,162	5	2,156	1	1,171		
2	2,100	1	2,092	1	1,127		
1	2,058	—	—	1	1,109		
2	2,021	1	2,017	2	1,082		
1	1,958	1	1,951	2	1,070		
1	1,905	1	1,905	1	0,994		
1	1,844	—	—	1	0,948		
1	1,821	—	—	1	0,929		
2	1,805	2	1,800				

В шапке таблицы:

1—марганцевый бабингтонит из месторождения Рудный Каскад (7,91% MnO);  
2—марганцевый бабингтонит из месторождения Одинокое (3,01% MnO).

Свойства минералов изоморфного ряда. Мелкозернистые агрегаты и кристаллы бабингтонита обычно имеют черный цвет, реже с буроватым или зеленоватым оттенком [22]. Повышенные содержания марганца не изменяют его. В тонких осколках зерна минерала полупрозрачны и просвечивают буроватым или темнозеленым цветом.

Блеск сильный, стеклянный, приближающийся к алмазному на гранях кристаллов, которые вследствие этого дают хорошие рефлексы при гониометрическом измерении.

Твердость обычного бабингтонита 5,5—6 [5, 20, 22]. Измерение микротвердости марганцевого бабингтонита из месторождения Рудный Каскад (анализ № 8) дало значение, соответствующее по шкале Мооса величине 6,7 [3]. По-видимому, в наметившемся изоморфном ряду будет наблюдаться увеличение твердости в связи с увеличением содержания марганца.

Всеми исследователями бабингтонита отмечается наличие у минерала спайности в трех направлениях: более совершенной по базису (001) и менее совершенной в «призматической» зоне, грани которой параллельны третьей кристаллографической оси. Однако разными ис-



следователями указывается различное направление спайности в этой зоне. По Вашингтону [37] и Ларсену [11], бабингтонит имеет спайность по трем главным пинакоидам: совершенную по (001) и менее совершенную по (010) и (100). Ричмонд [34], а также Шода [36] отмечают у минерала совершенную спайность по «призме» (110), очевидно подразумевая под призмой два пинакоида — (110) и ( $\bar{1}\bar{1}0$ ).

Измерение углов между плоскостями спайности, проведенное в шлифах в трех характерных сечениях марганцевого бабингтонита из месторождения Рудный Каскад, показало их совпадение с углами элементарной ячейки, что дает основание говорить о наличии у минерала спайности по трем главным пинакоидам: весьма совершенной по (001), менее совершенной по (010) и плохой по (100) — рис. 2 и 3.

Кристаллооптическое исследование бабингтонита и его марганцевой разновидности показало, что они являются двуосными, оптически положительными \* минералами, обладающими высокими показателями преломления, высоким двупреломлением и большим углом оптических осей. Характерна сильная дисперсия оптических осей, дисперсия бисектрис и дисперсия плоскости оптических осей, все виды которой детально изучались Вашингтоном [37] и Шода [36]. Наличие сильной дисперсии приводит к явлению неполного погасания, к появлению аномальных интерференционных окрасок, а также создает трудности в определении угла  $2V$ , измеренные значения которого довольно сильно колеблются: от  $+60$  до  $+82^\circ$ . Помимо возможных ошибок измерения, связанных с самим методом, и влияния состава на величину угла  $2V$ , дисперсия, очевидно, является одной из главных причин сильного колебания значения угла  $2V$ .

Говорить с достоверностью о характере связи оптических свойств с составом бабингтонита пока невозможно, так как в распоряжении имеется незначительный фактический материал, представленный проанализированным бабингтонитом с изученными свойствами. Но как видно из табл. 3, тенденция связи все же намечается. С изменением состава, главным образом с увеличением содержания  $Mn^{+2}$  (и соответственно уменьшением содержания  $Fe^{+2}$ ), показатели преломления и двупреломления понижаются, а угол  $2V$  увеличивается.

Данные об ориентировке оптической индикатриссы в бабингтоните противоречивы. По Трегеру [16], плоскость оптических осей располагается в бабингтоните примерно параллельно грани (122), а оптические оси выходят косо на гранях (001) и (110). Ричмонд [34], Ларсен [11] и Шода [36] отмечают, что плоскость оптических осей почти параллельна (110) и почти перпендикулярна (001). Как показало изучение марганцевого бабингтонита из месторождения Рудный Каскад, плоскость оптических осей в нем располагается косо по отношению к трем главным пинакоидам (см. рис. 2).

Характерным свойством бабингтонита является его своеобразный и густой плеохроизм (см. табл. 3), который может служить диагностическим признаком минерала. Кривые оптической плотности марганцевого бабингтонита из месторождений Краснокаменной группы (рис. 4), полученные на спектрофотометрической установке А. Д. Ракчеева [15], показывают, что окраска по  $Ng$  обусловлена, главным образом, влиянием окисного железа, а по  $Np$  — закисного железа [13]. Выявляющиеся на кривых максимумы, не свойственные типичным кривым

\* Лишь для бабингтонита, обнаруженного вблизи интрузии Норильск-1 М. П. Габинетом и Э. Н. Елисеевым [4], указывается отрицательный оптический знак.

двух- и трехвалентного железа, очевидно, следует относить за счет влияния  $Mn^{+2}$ .

Интересно отметить, что у обоих образцов марганцевого бабингтонита оптическая плотность по  $Np$  выше, чем по  $Ng$ . Кроме того, в целом образец из месторождения. Одиночное (анализ № 7, табл. 3) ха-

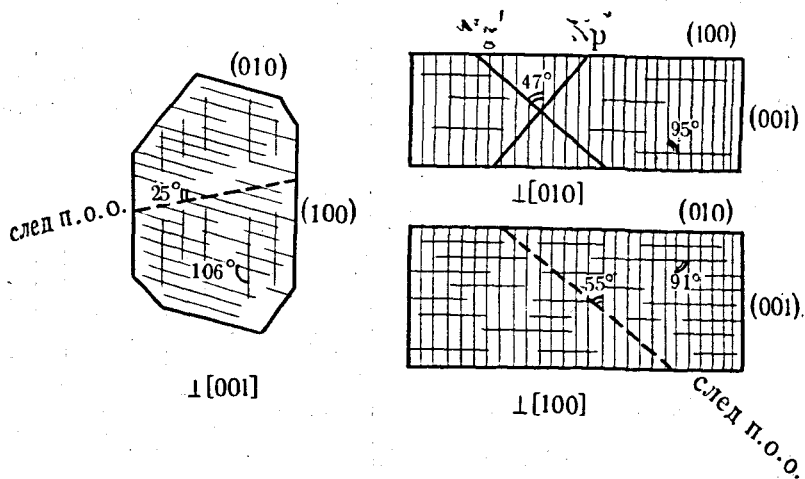


Рис. 2. Оптическая ориентировка марганцевого бабингтонита (месторождение Рудный Каскад) в трех характерных сечениях

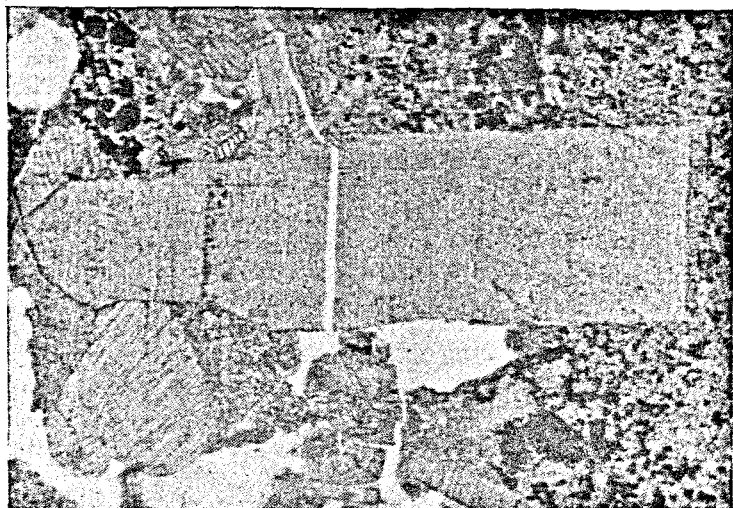


Рис. 3. Разнозернистый агрегат марганцевого бабингтонита (светло-серые рельефные зерна со спайностью) в мелкозернистом пироксен-магнетитовом скарне (черное — магнетит) месторождения Рудный Каскад. На идиоморфном зерне марганцевого бабингтонита отчетливо видна спайность по (001). Прозрачный шлиф. без анализатора,  $\times 32$

характеризуется более высокой оптической плотностью, чем образец из месторождения Рудный Каскад (анализ № 8), что вероятно связано с большим содержанием железа в первом образце. Как следует из сказанного выше, изоморфное замещение двухвалентного железа двухвалентным марганцем понижает оптическую плотность, поэтому можно

предположить, что обычный бабингтонит, содержащий менее двух процентов  $MnO$ , будет иметь большую оптическую плотность, т. е. визуально будет характеризоваться еще более густым плеохроизмом.

Кривые оптической плотности, полученные Шода [36] для бабингтонита из месторождения Якуки Майн (Япония), в целом обнаруживают сходство с приводимыми, однако сопоставлять их трудно, так как

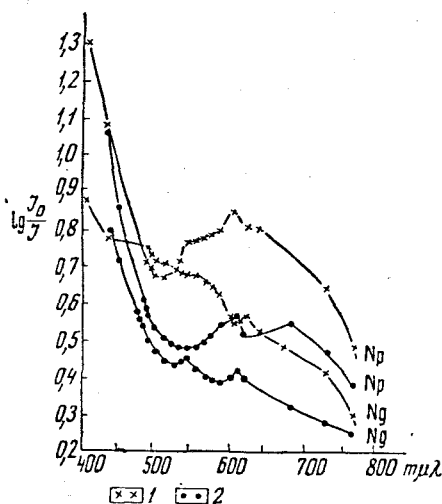


Рис. 4. Кривые поглощения образцов марганцевого бабингтонита из месторождений Одиночное (1) и Рудный Каскад (2)

во-первых, они получены в разных условиях, а, во-вторых, образец из Якуки Майн не анализировался.

В пламени паяльной трубки бабингтонит легко сплавляется в черный магнитный шарик. Аналогичным образом ведет себя и марганцевый бабингтонит. В кислотах  $HCl$ ,  $HNO_3$  и  $H_2SO_4$  бабингтонит не растворим. Марганцевый бабингтонит в незначительной степени разлагается в концентрированной соляной кислоте, окрашивая при этом раствор в бледный буровато-желтый цвет.

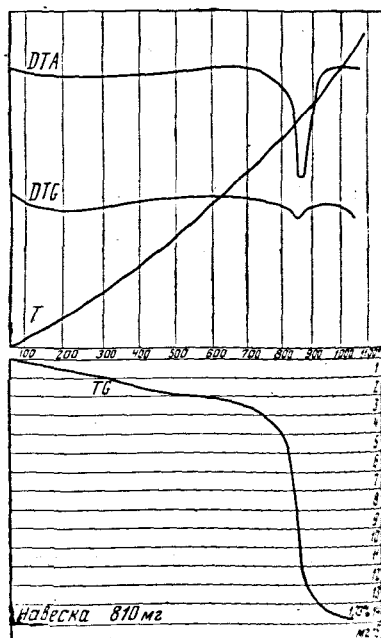


Рис. 5. Дифференциальная термическая кривая (DTA), дифференциальная термогравиметрическая кривая (DTG) и кривая потери веса (TG) марганцевого бабингтонита из месторождения Рудный Каскад

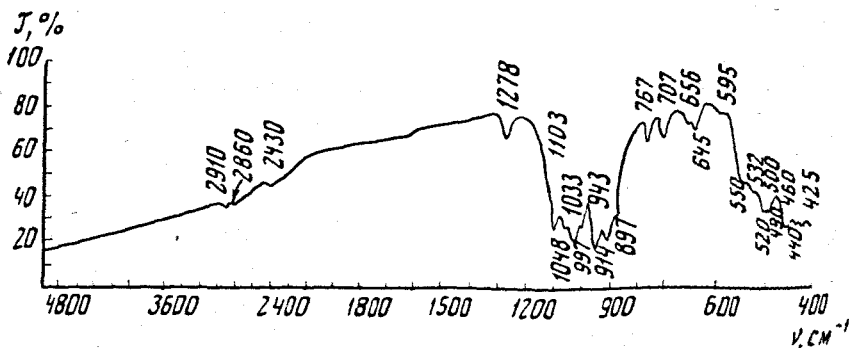


Рис. 6. Инфракрасный спектр марганцевого бабингтонита из месторождения Рудный Каскад

Термическое изучение впервые было проведено на образце марганцевого бабингтонита из месторождения Рудный Каскад (рис. 5). Оно подтвердило наличие в минерале конституционной воды, выделяющейся при температуре около  $860^{\circ}$ , чему на дифференциально-термической кривой соответствует отчетливый эндотермический пик, а термогравиметрическая кривая фиксирует потерю веса, составившую в изучавшемся образце 1,73%.

Инфракрасная спектроскопия и кристаллохимические особенности минералов изоморфного ряда. Инфракрасный спектр был получен на инфракрасном спектрофотометре UR-10 в интервале  $5000-400 \text{ см}^{-1}$  для образца марганцевого бабингтонита из месторождения Рудный Каскад (рис. 6).

Основная полоса спектра в области  $1100-900 \text{ см}^{-1}$  имеет вид дублета с сложной структурой. Марганцевый бабингтонит (а также ферробабингтонит), не подвергавшийся ранее детальному рентгеноструктурному исследованию, по положению и структуре основной коротковолновой полосы может быть отнесен к силикатам с цепочечной структурой [26]. Особенно складно очертание его спектральной кривой в области  $9-11 \text{ м}$  с таковыми родонита и пироксмагнита [10].

Как известно, в печочечных силикатах по числу тетраэдров, составляющих звено (период повторяемости) в цепочке  $[\text{SiO}_3]_{1\infty}$ , можно различать цепи с одним, двумя, тремя, четырьмя, пятью или семью тетраэдрами. Число внутренних колебаний цепи, как было показано [27], равно  $3pq-4$ , где  $q$  — число атомов в звене цепи,  $p$  — число звеньев в период повторяемости. На основании этих исследований применительно к силикатам было найдено, что спектры силикатов с различным числом

тетраэдров в звене цепи также должны существенно отличаться [8, 9, 10]. Для интерпретации спектров метасиликатов была использована модель одномерного кристалла, применявшаяся для определения правил отбора [28]. Как было показано, в спектрах метасиликатов наибольший интерес представляет область  $550-750 \text{ см}^{-1}$ , обычно не содержащая полос в спектрах островных силикатов. Число частот в этой области, соответствующих симметричному колебанию  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ , позволяет судить о числе тетраэдров в периоде повторяемости. В спектре марганцевого бабингтонита в этой области содержатся следующие полосы в обратных сантиметрах: 767 (ср.), 707 (ср.), 656 (ср.), 645 (ср.), 595 (оч. сл.) и 550 (с.). Можно полагать, что периодом идентичности цепи структуры исследуемого минерала является звено  $[(\text{SiO}_3)_5]$ . В табл. 5 приведена интерпретация частот спектра. Присутствие полосы около  $3000 \text{ см}^{-1}$  подтверждает наличие группы  $\text{OH}$  [18], при этом существенный сдвиг этой полосы к более низким частотам свидетельствует о том, что они связаны водородными связями. Отличает спектр марганцевого бабингтонита от спектров других метасиликатов полоса  $1278 \text{ см}^{-1}$

Таблица 5  
Частоты ИК-спектра марганцевого бабингтонита

Колебания	Частоты полос в $\text{см}^{-1}$
$\nu_{as}(\text{OSiO})$ $\nu_{as}(\text{SiOSi})$ $\nu_s(\text{OSiO})$	1103 оч. с.
	1048 оч. с.
	1033 оч. с.
	997 оч. с.
	943 оч. с.
	914 оч. с.
	897 оч. с.
$\nu_s(\text{SiOSi})$	767 ср.
	707 ср.
	656 ср.
	645 ср.
	595 оч. сл.
	550 с.
$\delta(\text{SiO})$ $\nu(\text{MeO})$	532 с.
	520 оч. с.
	500 оч. с.
	490 оч. с.
	460 оч. с.
	440 оч. с.
	425 оч. с.

(аналогичная полоса обнаруживается в спектре ксонотлита) [14]. Эта полоса связана, возможно, с деформационными колебаниями группы  $\text{OH}$  в структуре.

В заключение следует отметить, что для более обоснованного написания радикала  $[(\text{SiO}_3)_5]_{\infty}$  в формуле минералов ряда ферробабингтонит-манганбабингтонит целесообразно гидроксильные группы ввести в радикал  $[\text{Si}_5\text{O}_{14}\text{OH}]_{\infty}$ . Тогда общая формула минералов изоморфного ряда будет иметь вид  $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2})\text{Fe}^{+3}[\text{Si}_5\text{O}_{14}\text{OH}]$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бетехтин А. Г. Минералогия. М., «Госгеолтехиздат», 1950.
2. Булах А. Г. Расчет формул минералов. М., «Недра», 1964.
3. Виноградова Р. А., Сычкова В. А., Кабалов Ю. К. Марганцевый бабингтонит из месторождения Рудный Каскад (Восточный Саян). ДАН СССР, 1966, т. 169, № 2.
4. Габинет М. П., Елисеев Э. Н. О бабингтоните. «Львовск. Мин. сб.», 1962, № 16.
5. Дана Э. С. Описательная минералогия. М., ОНТИ, 1937.
6. Карпова Е. Д. О рудоносных скарнах Алая и советского Тянь-Шаня. «Мат-лы ВСЕГЕИ», сер. полезн. ископ., 1948, № 4.
7. Кравченко М. Л. Геология и орудование верховьев р. Зеравшана. «Мат-лы Тадж.-Памирск. эксп.», 1937, вып. 68.
8. Лазарев А. Н. О колебании цепей кремнекислородных тетраэдров. «Оптика и спектр», 1957, т. 4, вып. 6.
9. Лазарев А. Н., Тенишева Т. Ф. Колебательные спектры силикатов. II. Инфракрасные спектры поглощения силикатов и германатов с цепочечными аналогами. «Оптика и спектр», 1961, т. 10, вып. 1.
10. Лазарев А. Н., Тенишева Т. Ф. Колебательные спектры силикатов. III. Инфракрасные спектры пироксеноидов и других цепочечных метасиликатов. «Оптика и спектр», 1961, т. 11, вып. 5.
11. Ларсен Е., Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом. М., «Недра», 1965.
12. Магакьян И. Г. К минералогии и генезису скарновых зон Зеравшанского хребта. «Зап. Всес. Мин. о-ва», 1939, ч. 68, № 2.
13. Меланхолин Н. М. Кривая поглощения окисного железа в минералах. «Зап. Всес. Мин. о-ва», 1946, ч. 85, № 2.
14. Плюснина И. И. О результатах исследования ИК-спектров поглощения ряда кольцевых силикатов. «Журн. структ. хим.», 1961, т. 2, № 3.
15. Ракчеев А. Д. Новая спектрофотометрическая установка для исследования микрокристаллов. ДАН СССР, 1960, т. 130, № 4.
16. Трегер В. Е. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов. М., Госгеолтехиздат, 1958.
17. Штрунц X. Минералогические таблицы. М., Гос. научн.-техн. изд-во лит-ры по горному делу, 1962.
18. Юхневич Г. В. Исследование  $\text{OH}^-$ ,  $\text{OH}_2^-$ ,  $\text{OH}_3^+$ -группировок по их колебательным спектрам. «Тр. комисс. по спектроскопии», 1964, вып. 1.
19. Cosminsky F. R. An occurrence of babingtonite in Loudon Co., Virginia. «Rocks and miner.», 1950, vol. 25, No. 11—12.
20. Doelter C. Handbuch der Mineralchemie, 1917, Bd. 2, H. 2.
21. Emerson V. K. Ein Mineralogisches Lexikon von Franklin, Hampshire und Hampden Co., Massachusetts. «Zeitschr. für Kristal. und Mineral.», 1897, Bd. 28, H. 4—5.
22. Fenner S. N. Babingtonite from Passaic country Jersey. «Repr. from the Journ. of the Washington. Academie of science», 1914, vol. 4, No. 14.
23. Gossner B., Musgnug F. Über die systematische Stellung von Neptunit und Babingtonit. «Zentralblatt für Mineral u. Petrogr.», A, 1928, Nr. 2.
24. Heddle F. The geognosy and mineralogy of Scotland (Sutherland). «Mineral. Magas.», 1883, vol. 5, No. 24.
25. Hillebrand S. Über Agirin und Babingtonite. «Tscherm. Mineralog. und Petrograf. Mitteilungen», 1913, Bd. 32, H. 3.
26. Launer Ph. Regularities in the infrared absorption spectra in minerals. «Americ. Mineral.», 1952, vol. 37, No. 9.
27. Liang C. J., Krimm S. Infrared spectra of high polymers. I. Experimental methods and general theory. «Journ. Chem. Phys.», 1956, No. 25.
28. Liang C. J. Selection rules for the vibrational spectra of high polymers. «Journ. Molec. Spectr.», 1957, No. 1.

5. Palache C., Fraprie F. Babingtonite von Sommer ville, Massachusetts. «Zeitschr. für Kristallograph. und Mineral.», 1903, Bd. 37, H. 5.
6. Palache C., Fraprie F. Babingtonite from Athol, Massachusetts. «Proc. Americ. Academ.», 1902, vol. 38.
7. Palache C., Gonyer F. On babingtonite. «Americ. Mineral.», 1932, vol. 17, No. 7.
8. Palache. C. Babingtonite and epidote from Westfield, Massachusetts. «Americ. Mineral.», 1936, vol. 21, No. 10.
9. Richmond W. E. Paragenesis of the minerals from Blueberry Mountain, Woburn, Massachusetts. «Americ. Mineral.», 1937, vol. 22, No. 4.
10. Richmond W. E. On babingtonite. «Americ. Mineral.», 1937, vol. 22, No. 5.
11. Schaub B. M. Occurrence and origin of babingtonite and other minerals from quabbin Aqueduct, Massachusetts. «Americ. Mineral.», 1941, vol. 26, No. 2.
12. Shoda T. Abnormal properties of babingtonite from Yakuki Mine. «Japan. Mineral. Journal», 1961, vol. 3, No. 4.
13. Washington H. S. On babingtonite. «Americ. Mineral.», 1923, vol. 8, No. 12.

Получила в редакцию  
30.8 1966 г.

Кафедра  
минералогии