

А. Х. МНАЦАКАНЯН, Э. Х. ХУРШУДЯН, Н. В. РЕВАЗОВА

ЦЕОЛИТЫ ИЗ ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АРМЯНСКОЙ ССР

Широко развитая на территории северо-восточной части Армянской ССР верхнемеловая базальт-диоритовая вулканическая серия отличается сложностью внутреннего строения и сформировалась в своеобразных тектонических условиях (А. Х. Мнацаканян, 1961, 1964). На стадии поствулканического метаморфизма верхнемеловых вулканических пород интенсивные гидротермальные процессы привели к образованию специфического комплекса минеральных новообразований, среди которых ведущую роль играют минералы группы цеолитов.

Первые упоминания и краткие описания цеолитов из верхнемеловых вулканических пород северо-восточной части Армянской ССР содержатся в работе А. Е. Ферсмана «материалы к изучению цеолитов России» (1922). По сборам Г. И. Касперовича А. Е. Ферсманом были, в частности, описаны из «разрушенных порфиринов в окрестностях с. Кульп» (ныне Кохб) анальцит, натролит, мезолит, гейландит и ряд сопутствующих минералов. Из Саригюхского месторождения агатов Я. А. Драновским и Р. З. Левковским приводятся морденит и гейландит (определения Д. П. Григорьева). М. А. Сатианом (1960) описан из верхнемеловых брекчий и туффовых песчаников томсонит, для которого выполнены также химические анализы и термограмма.

Особенности процесса цеолитизации и пространственного распределения ассоциаций цеолитов рассмотрены в специальной статье одного из авторов данной статьи (Мнацаканян, 1965). В настоящей статье приводятся результаты комплексного исследования цеолитов названного региона, выполненного в основном в Институте геологических наук АН Арм. ССР.

Нами при изучении цеолитов широко применялись оптические методы; почти для всех минералов выполнены также химические, спектральные, термические и рентгенометрические анализы. В результате кроме упоминавшихся в разное время в литературе анальцита, натролита, мезолита, гейландита, морденита и томсонита, установлены также сколецит, десмин, брюстерит, бариогейландит, стеллерит, леонгардит и шабазит.

Химические анализы всех описываемых цеолитов (аналитик А. А. Петросян) рассчитывались по методу В. С. Соболева (1949) на соот-

ветствующее число атомов кислорода, без учёта воды (на «сухое вещество»).

Часть термических исследований цеолитов выполнена в ВИМСе, в лаборатории В. Ф. Сыромятникова, другая часть в ИГН АН Арм. ССР, И. Х. Петросовым.

Рентгеновское исследование описываемых минералов проведено в лаборатории рентгеновского анализа ИГН АН Арм. ССР методом Дебая в камере РКД—57,3 мм.

При диагностике дебаграмм использовались многочисленные литературные данные (В. И. Михеев, 1947, В. П. Шашкина, 1958, Э. Н. Елисеев, И. В. Кавич, М. Г. Мирончук, 1962; С. J. Peng, 1955, И. Костов и Л. Филизова, 1959, И. Костов, 1962, Д. Чунев, 1960, Хаун, Дир, Зусман, 1966 и др.).

Широко развитый изовалентный и гетеровалентный изоморфизм в группе цеолитов весьма затрудняет диагностику отдельного минерала, когда отсутствует комплекс исследований для него. Авторы думают, что описанные в статье минералы, при той полноте исследований, которая приведена для них, могут служить эталонами.

Ниже приводится описание основных цеолитов по кристаллохимическим группам (Михеев В. И., 1947, Штрунц, 1963): группа лейцита (анальцим); группа натролита (натротит, мезолит, сколецит, томсонит); группа гейландита (гейландит, десмин, брюстерит, бариегейландит, стеллерит, морденит); группа ломонтит-жисмондина (леонгардит); группа гмелинита (шабазит).

Анальцим наряду с палагонитом присутствует в интерстициальных участках долеритов и диабазов и нередко в виде неправильных пятен замещает вкрапленники плагиоклаза. Не менее часто встречается в крупных мономинеральных миндалинах мандельштейновых базальтов. В брекчиях анальцим вместе с кальцитом и натролитом образует крупные гнезда. Хорошо образованные кристаллы его исключительно редки и представлены тетрагон-триоктаэдрами (211); обычно образует сплошные массы. Водянопрозрачен, с неровным изломом. Удельный вес (d) 2,26. Под микроскопом бесцветен, изотропен, но нередко имеет слабое двупреломление. В этих случаях ясно видны характерные клиновидные полисинтетические двойники. Показатели преломления $N=1,483; 1,489 \pm 0,001$.

Ниже приведен химический состав анальцима, выделенного из миндалины.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	+H ₂ O	Сумма
	54,40	24,40	0,15	0,36	12,50	0,20	8,08	100,09

Кристаллохимическая формула, рассчитанная по безводному ве-

шеству на 6 атомов кислорода, почти точно отвечает теоретической и имеет следующий вид: $(\text{Mg}_{0.02}\text{Ca}_{0.01}\text{Na}_{0.90}\text{K}_{0.01})_{0.94}[\text{Si}_{1.97}\text{Al}_{1.03}\text{O}_6] \cdot 0.98\text{H}_2\text{O}$

Дебаеграмма аналцита (табл. 1) снята на медном излучении с никелевым фильтром (Cu—Ni) при выдержке 12 час.

Табл. 1

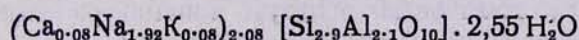
№№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$	№№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$	№№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$
1	9	5,67	18	3	1,592	35	6	1,026
2	5	4,85	19	4	1,496	36	6	1,007
3	3	3,657	20	5	1,480	37	2	0,997
4	10	3,447	21	4	1,448	38	5	0,957
5	9	2,916	22	8	1,418	39	4	0,949
6	5	2,800	23	9	1,359	40	3	0,922
7	6	2,686	24	5	1,311	41	4	0,906
8	6	2,515	25	6	1,289	42	4	0,876
9	5	2,421	26	6	1,265	43	4	0,862
10	6—	2,224	27	8	1,224	44	3	0,842
11	4	1,998	28	6	1,187	45	3	0,836
12	8	1,899	29	5	1,170	46	4	0,813
13	7	1,863	30	2	1,154	47	3	0,810
14	9	1,746	31	1	1,138	48	4	0,807
15	6	1,718	32	7	1,123	49	6	0,804
16	6	1,688	33	4	1,093	50	4	0,790
17	3	1,633	34	2	1,042			

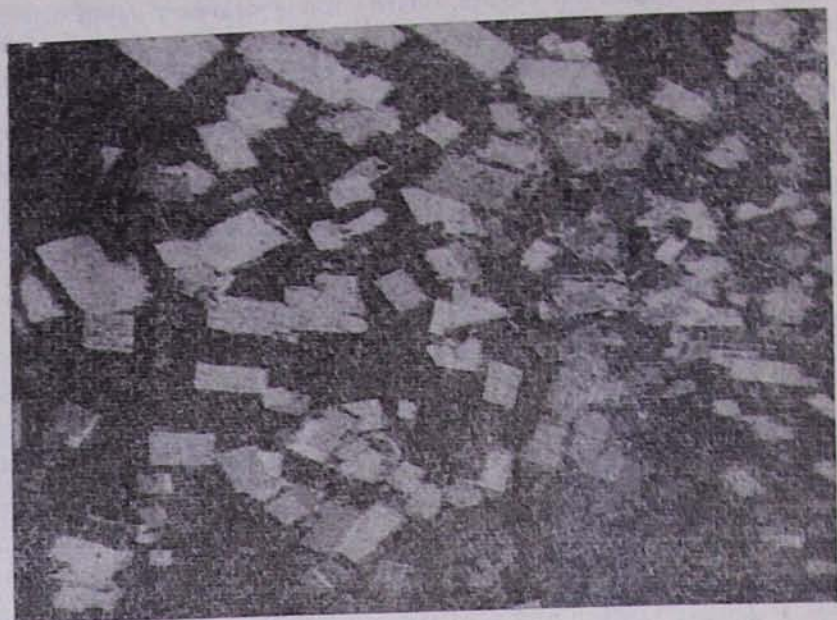
Натролит наиболее часто встречается в цементе вулканических брекчий и выполняет с аналцитом и кальцитом крупные гнезда и прожилки. Выделения натролита—белого цвета, имеют радиально-лучистое строение при длине лучей до 5—6 см. $d=2,20$. Под микроскопом агрегаты натролита состоят из параллельных сростков удлиненно-призматических индивидов. В сечениях, перпендикулярных (001), минерал даёт характерные квадратные, ромбовидные разрезы или параллелограммы (фиг. 1). Хорошо выражена спайность по призме (110). Удлинение положительное, погасание прямое; (+) $2V=60-62^\circ$, $Ng'=1,490$; $Nm=1,483$, $Np'=1,479$; $Ng-Np=0,012-0,013$.

Химический состав натролита и кристаллохимическая формула, рассчитанная на 10 атомов кислорода, приводятся ниже.

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	$+\text{H}_2\text{O}$	$-\text{H}_2\text{O}$	Сумма
	43,90	27,80	1,04	14,86	0,07	11,36	1,04	100,07

Кристаллохимическая формула:





Фиг. 1 Выделения натролита (светлое) в кальците.

На дифференциально-термической кривой (фиг. 2) четко выражен характерный для натролита эндотермический эффект между 400° — 500° с максимумом при 405° — 410° . Небольшой эндотермический эффект, связанный уже с распадом кристаллической решетки при 850° , за ним следует крутой экзотермический подъем с максимумом в точке, отвечающей 1000° .

Дебаеграмма натролита (табл. 2) снята на железном излучении при выдержке 10 часов.

№№ линий	l	$\frac{d\alpha}{n}$	$\frac{d\beta}{p}$	№№ линий	l	$\frac{d\alpha}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$
1	8	6,39	5,79	10	4	2,548	2,309
2	8	5,84	5,29	11	4	2,396	2,172
3	6	4,52	4,10	12	6	2,167	1,964
4	4	4,27	3,87	13	6	1,787	1,620
5	6	4,08	3,70	14	6	1,456	1,320
6	3	3,45	3,13	15	4	1,301	1,179
7	8	3,12	2,83	16	6	1,214	1,100
8	10	2,827	2,562	17	2	1,186	1,075
9	3	2,650	2,402				

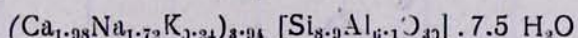
Мезолит очень редко образует мономинеральные скопления и встречается в виде прожилков в вулканических брекчиях, где образует

плотные радиально-лучистые агрегаты беловатого цвета. Наиболее же частым случаем является совместное нахождение мезолита со сколецитом в миндалинах, гнездах и прожилках. Под микроскопом устанавливается, что оба минерала прорастают друг друга или образуют закономерные сростания — двойники; реже можно наблюдать, как в одном луче-кристалле сколецит от основания (прозрачной части с двупреломлением примерно 0,007—0,009) к верхушке переходит в мезолит (мутноватый со слабым двупреломлением). $d=2,40$. Под микроскопом имеет волокнистое строение или представляет агрегат лапчатых неправильных зерен. Оптические константы следующие: (+) $2V=75-76^\circ$, $N_m=1,505\pm 0,001$; N_g-N_p —примерно 0,003—0,004. Характерны всреженообразные, линзовидные или крестообразные двойники с плоскостью сростания (100); координаты двойниковой оси: $N_g=26^\circ$, $N_m=87^\circ$, $N_p=64^\circ$, $cN_p=12^\circ$.

Химический состав и кристаллохимическая формула мезолита, рассчитанная на 30 атомов кислорода, приведены ниже.

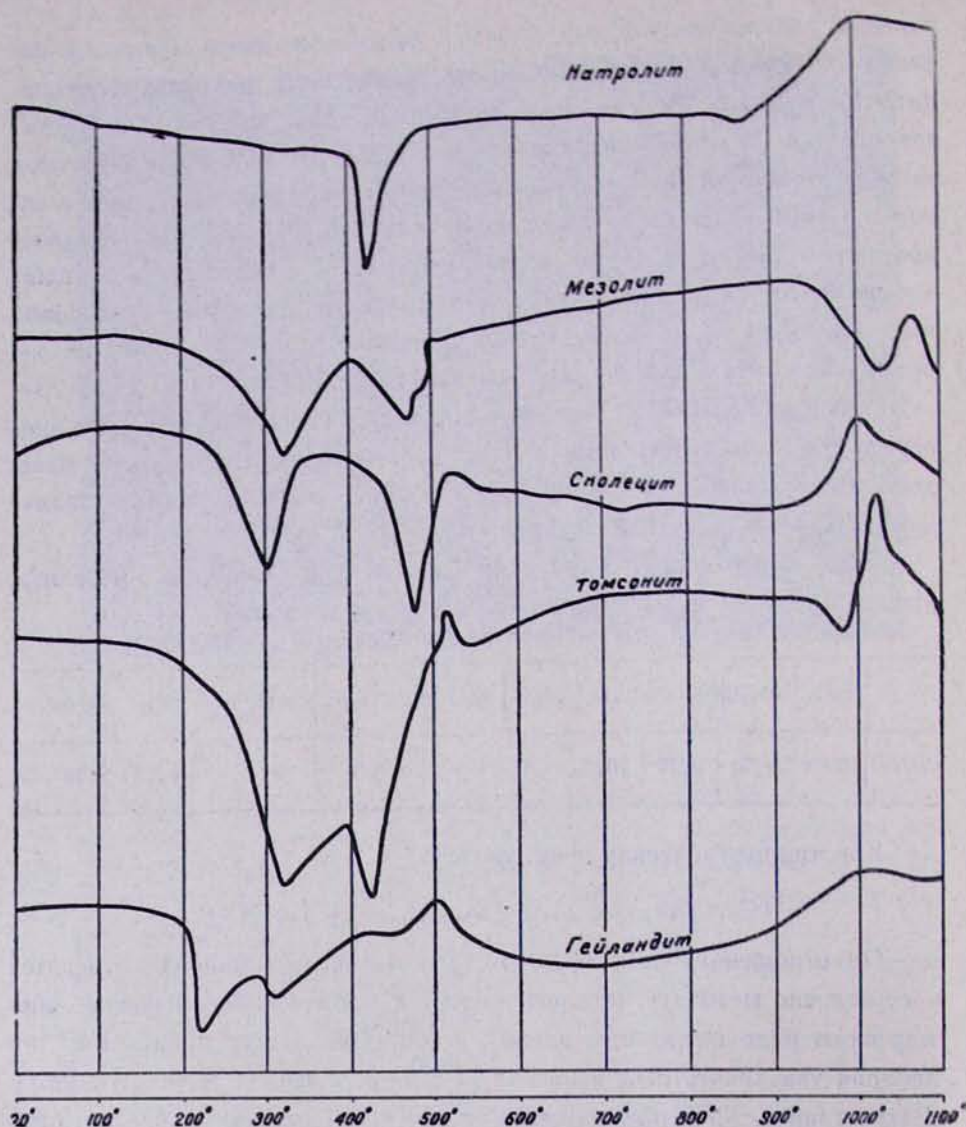
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	+H ₂ O	-H ₂ O	CO ₂	Сумма
45,68	26,50	0,10	10,23	4,46	0,92	11,70	0,10	0,70	100,39

Кристаллохимическая формула:



По отношению CaO:Na₂O (2,3:1) изученный минерал относится к собственно мезолиту, который является промежуточным членом изоморфного ряда натролит-сколецит и характеризуется пределами колебаний указанного отношения от 1:1 до 5:1 (М. Н. Шкабара, 1951). Рассчитанная кристаллохимическая формула мезолита близко отвечает теоретической; отмечается лишь изоморфное замещение части атомов натрия атомами калия.

Дифференциально-термическая кривая мезолита (фиг. 2) обнаруживает эндотермические эффекты дегидратации при 310°, 460° и слабый—при 540°; резко выражен эндотермический пик при 1030°, после которого отмечается экзотермический подъем до 1060°. Термограмма изученного мезолита близка к полученным для этого минерала Пенгом (1955) и В. А. Ныrkовым и А. Г. Кобилевым (1962) кривым.



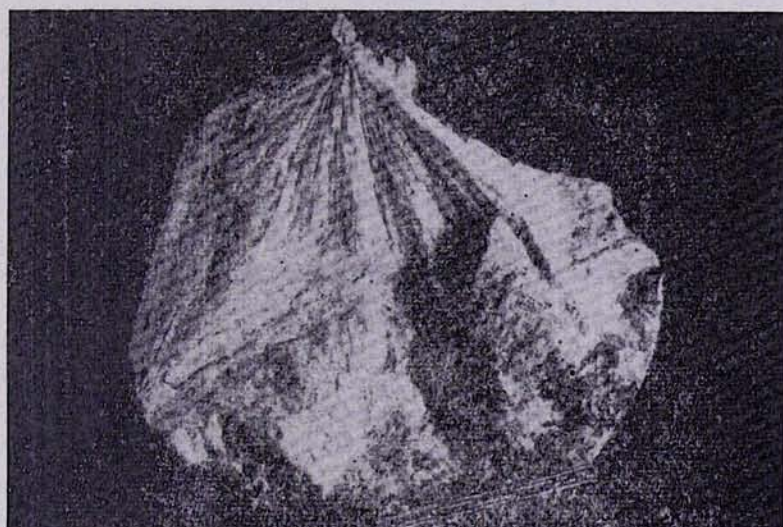
Фиг. 2 Дифференциально-термические кривые цеолитов из верхнемеловых вулканических пород.

Рентгенограмма мезолита (табл. 3) снята на Fe излучении при выдержке 19 часов.

Сколецит один из самых распространенных цеолитов и встречается повсеместно в минералах, прожилках и других выделениях в лавах и брекчиях. Обычно также замещает вкрапленники плагиоклаза в мандельштейновых базальтах. Его белые удлиненные кристаллы об-

Таблица 3

№№ линий	I	$\frac{dz}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	№№ линий	I	$\frac{dz}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$
1	2 дв	7,26	6,76	30	2	1,712	1,551
2	3	6,78	6,14	31	3	1,682	1,524
3	6	6,47	5,86	32	4	1,639	1,486
4	3 разм	5,95	5,40	33	2	1,585	1,437
5	5	5,80	5,33	34	3	1,542	1,399
6	1 разм	4,81	4,36	35	3	1,525	1,382
7	2	4,613	4,18	36	2	1,489	1,350
8	6	4,348	3,941	37	7	1,474	1,336
9	4	4,142	3,755	38	4	1,431	1,297
10	2	3,530	3,199	39	2	1,405	1,273
11	1	3,405	3,086	40	4	1,380	1,250
12	5	3,207	2,907	41	2 дв	1,331	1,206
13	6	3,146	2,852	42	2 дв	1,309	1,187
14	4	3,072	2,784	43	3	1,290	1,169
15	6	2,911	2,639	44	1	1,273	1,153
16	10	2,855	2,588	45	5	1,236	1,120
17	1	2,717	2,463	46	4	1,216	1,102
18	2	2,662	2,413	47	1	1,206	1,093
19	3	2,559	2,320	48	1	1,193	1,081
20	2	2,455	2,225	49	1	1,186	1,075
21	3	2,415	2,185	50	1	1,158	1,050
22	2	2,267	2,055	51	2	1,148	1,040
23	6	2,198	1,992	52	2	1,134	1,028
24	1	2,053	1,861	53	1	1,105	1,001
25	2	1,994	1,808	54	1	1,093	0,909
26	2	1,958	1,774	55	2	1,080	0,079
27	2 дв	1,848	1,675	56	3	1,058	0,959
28	7	1,805	1,636	57	3	1,028	0,932
29	4	1,745	1,582				



Фиг. 3 Радиально-лучистые агрегаты сколецита. Вид в шгуге.

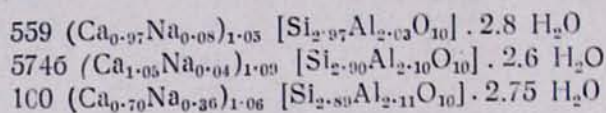
разуют лучистые агрегаты (фиг. 3). Размеры некоторых миндалинов, сложенных сколецитом, достигают иногда 8—10 см. в поперечнике. О тесных сростаниях сколецита с мезолитом уже упоминалось, $d=2,42$.

Под микроскопом радиально-лучистые агрегаты сколецита представляют параллельные сростки удлинённых клиновидных кристаллов с тонким двойникованием внутри индивидов. Плоскость двойникования (100); двойниковая ось имеет координаты: $Ng=90^\circ$, $Nm=20^\circ$, $Np=70^\circ$. Видна отчетливая призматическая спайность по (110). Удлинение отрицательное, $cNp=15^\circ$. $-2v=36^\circ$, 38° , 40° . Показатели преломления: $Ng'=1,519$, $Nm=1,516$, $Np'=1,510$; $Ng'=1,516$, $Nm=1,513$, $Np'=1,504$.

Химический состав и кристаллохимические формулы сколецита, рассчитанные на 10 атомов кислорода, приведены ниже.

Окислы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	+H ₂ O	-H ₂ O	Сумма
Образец										
559	45,84	26,70	—	—	14,00	0,68	н. о.	12,96	н. о.	100,28
5746	44,52	27,00	—	—	15,00	0,27	н. о.	13,56	н. о.	100,37
100*)	45,48	27,50	0,10	0,79	9,80	2,06	0,06	11,60	0,56	99,54

Кристаллохимические формулы:



Как можно видеть из приведенных кристаллохимических формул различия в составах сколецитов связаны с изоморфизмом по типу $Ca^{2+} \rightarrow 2Na^{+}$ обычным для ряда натролит-сколецит (М. Н. Шкабара, 1951), в то время как содержания атомов Si и Al в каркасе и молекулы воды довольно постоянны.

Термограмма сколецита (обр. 559), приведенная на фиг. 2 аналогична эталонной кривой по В. П. Ивановой (1961). Первый резкий эндотермический эффект дегидратации отмечается при 300° , второй, ещё более резкий—при 490° ; небольшой эндотермический пик при 1000° отвечает уже распаду кристаллической решетки.

Ниже приводится (табл. 4) рентгенограмма образца 5746, снятая на Fe-ом излучении при выдержке 19 часов.

Томсонит, как и сколецит, является широко распространенным цеолитом и особенно часто встречается в миндаликах обломков мандельштейновых лав в брекчиях и в верхних частях лавовых потоков.

* Заимствован у М. А. Сатиана (1960).

Таблица 4

№№ линий	I	$\frac{dx}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	№№ линий	I	$\frac{dx}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$
1	8	6,47	5,86	31	2дв	1,588	1,470
2	7	5,77	5,32	32	2дв	1,533	1,390
3	1	(5,137	4,656	33	4	1,494	1,354
4	4	4,651	(4,216	34	1	1,477	1,339
5	7	4,315	3,911	35	4	1,467	1,329
6	3	4,157	3,768	36	4	1,431	1,297
7	3	3,618	3,280	37	4	1,382	1,252
8	6ш	(3,163)	2,867	38	2	1,344	1,218
9	3	3,064	2,777	39	3-4	1,324	1,200
10	6ш	2,855	(2,588)	40	3	1,308	1,186
11	2	2,680	2,429	41	2дв	1,272	1,153
12	3	2,565	2,325	42	6	1,244	1,128
13	3	2,460	2,230	43	2	1,218	1,104
14	4	(2,411	2,185	44	2	1,208	1,095
15	2ш	2,301	2,086	45	2	1,190	1,09
16	1	2,238	2,029	46	1	1,186	1,075
17	8	2,198	(1,992	47	2	1,174	1,064
18	2	(2,160	1,958	48	2ш	1,154	1,046
19	2	2,056	1,864	49	1	1,139	1,032
20	2	2,023	1,834	50	3	1,130	1,024
21	3	(1,988	1,802	51	1	(1,122	1,017
22	3-4	1,952	(1,769	52	2	1,107	1,003
23	2	1,888	1,712	53	1	1,000	0,997
24	2	1,851	1,677	54	3ш	1,084	0,982
25	4ш	1,800	1,631	55	2ш	1,565	0,965
26	3ш	1,750	1,586	56	2ш	1,051	0,952
27	3	1,720	1,559	57	3	1,039	0,942
28	3	1,651	1,497	58	3ш	1,032	0,936
29	4	1,630	1,477	59	2ш	1,024	0,928
30	5	1,610	1,460	60	2ш	1,016	0,921

В цементе вулканических брекчий образует крупные гнезда, до 4—5 см в диаметре. Цвет томсонита ярко-белый. Для него очень характерны сростки радиально-лучистых агрегатов, расходящихся из разных центров на стенках пустот. $d=2,43$. Под микроскопом (фиг. 4) имеет веерообразное строение; видны параллельные сростки отдельных удлиненно-призматических кристаллов по (010); в сростках оси N_g отдельных индивидов совпадают.

Нередко развита спайность по (001) и (100). Погасание прямое.

Оптические свойства томсонита, приведенные ниже, резко варьируют в зависимости от состава, определенного по диаграмме Ней (Винчелл, 1953).

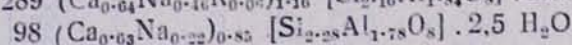
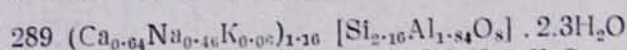
Наиболее распространенной разновидностью томсонита является томсонит $c+2v=+58-55^\circ$; томсонит с отрицательным углом оптических осей встречается в породах верхнемеловой серии очень редко и его следует относить к богатым Si и Na разновидностям — Метатомсонитам (Винчелл, 1953).

Для характеристики химического состава томсонитов мы располагаем двумя анализами; ниже приводятся результаты анализов и рассчитанные на 8 атомов кислорода кристаллохимические формулы.

№ образ- цов	2V	Ng'	Nm	Np'	Молекул. содерж. в % Na, Ca, Al в Si ₁₉ O ₈₀ 24H ₂ O	Число молекул H ₂ O в ячейке
289	+55°	1,532	1,525	1,522	60	21,5
544	+58°	1,526	1,519	1,516	50	20,5
350	+64°	1,522	1,516	1,513	45	19,5
30	-65°	1,520	1,512	1,508	40	18,5
550	-60°	1,516	1,510	1,508	30	17,5

Оксиды Образец										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	+H ₂ O	-H ₂ O	Сумма
289	41,35	29,98	—	—	11,44	4,62	0,13	8,48	4,40	100,40
98*)	43,40	28,94	0,06	0,99	11,00	2,15	0,04	12,48	0,41	99,50

Кристаллохимические формулы:



Полученные кристаллохимические формулы отвечают теоретическим; во второй формуле наблюдается недостаток катионов и избыток Si и Al, который компенсируется молекулами воды.



Фиг. 4 Двойниковые сростки сколепидита. Николы скрещены.

Дифференциально-термическая кривая томсонита (обр. 98), приведенная на фиг. 2, обнаруживает три резких эндотермических эффекта дегидратации: при 310°, 410° и 980°; экзотермические пики при

* Замечено у М. А. Сатиана.

380°, 515 и 1020° отвечают фазовым превращениям минерала. Характер кривой нагревания томсонита близко соответствует эталону (В. П. Иванов, 1961) и полученной А. А. Ныковым и А. Г. Кобилевым (1962) кривой.

Рентгенометрически исследован образец 289, в котором обнаружены линии, принадлежащие натролиту и гоннардиту (табл. 5). Последние присутствуют, по-видимому, в форме субмикроскопических вростков. Съёмка велась на Си-излучении с Ni-фильтром при выдержке 7 часов.

Гейландит широко распространен в верхнемеловых вулканических породах. По нахождению в различных типах пород, ассоциаций с другими цеолитами, а также по форме выделений обособляются два типа гейландитов:

1. Первый в виде листоватых, лучисто-листоватых и пластинчатых сростков выполняет прожилки в брекчиях базальтового состава или в ассоциации со сколецитом слагает крупные миндалины и гнезда. Очень характерны цвет—розовый, желтовато-розовый и блеск-стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Удельный вес—2,18.

Таблица 5

№№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$	№№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$	№№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$
1	8	7,15	19	4	2,125	37	5	1,272
2	8	6,55	20	6	2,059	38	3	1,256
3	7	6,07	21	7	1,956	39	7	1,212
4	8	4,89	22	5	1,884	40	7	1,189
5	8	4,64	23	9	1,810	41	8	1,137
6	6	4,39	24	7	1,709	42	2	1,075
7	7	4,12	25	3	1,683	43	6	1,058
8	7	3,51	26	2	1,649	44	5	1,024
9	7	3,21	27	7	1,619	45	4	0,977
10	7	3,18	28	7	1,579	46	3	0,945
11	10	2,94	19	6	1,540	47	2	0,914
12	10	2,865	30	9	1,462	48	2	0,904
13	2	2,800	31	4	1,436	49	2	0,894
14	8	2,670	32	7	1,387	50	2	0,873
15	5	2,581	33	5	1,329	51	2	0,862
16	6	2,434	34	6	1,313	52	2	0,853
17	7	2,257	35	4	1,304	53	2	0,839
18	9	2,175	36	4	1,281	54	4	0,815

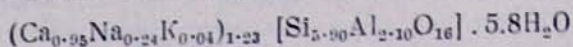
Под микроскопом видны длинно-волокнистые агрегаты с пятнистым погасанием. Наблюдаются веретенообразные двойники, нередко двойники типа «микроклиновой решетки».

Двойниковая плоскость—(001); координаты двойниковой оси: $Ng=90^\circ$, $Nm=0^\circ$, $Np=90^\circ$. Спайность четкая, по (010). В иммерсии минерал раздавливается по спайности на вытянутые пластинки с отрицательными удлинением. Показатели преломления: $Ng'=1,496$, $Nm'=1,489$, $Np'=1,486$, $+2v=30-34^\circ$.

Ниже приводится химический состав гейландита первого типа; кристаллохимическая формула рассчитана на 16 атомов кислорода.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	+H ₂ O	-H ₂ O	п. п. п.	Сумма
	56,00	17,00	8,40	1,20	0,26	14,68	1,92	1,32	100,78

Кристаллохимическая формула:



По содержанию основных окислов описываемый гейландит относится по М. Н. Шкабра (1951) к «низкотемпературному типу (бомониту)» с теоретической формулой $\text{Ca} [\text{Si}_5\text{Al}_2\text{O}_{16}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Многие исследователи (М. Н. Шкабра, 1951; Г. В. Гвахария, 1952 и др.) указывают на резкие колебания в составе гейландитов, обусловленные заменой катионов $\text{Ca}^{+2} \rightarrow 2\text{Na}^{+1}$ и $\text{Ca}^{+2} \rightarrow \text{Sr}^{+2}$ и изоморфизмом по типу $\text{CaAl}_2 \rightarrow \text{NaSi}$ с одновременным изменением количества воды.

Термическая кривая гейландита (фиг. 2) обнаруживает сходство с эталонной (В. П. Иванова, 1961) и с приведенной А. А. Ныrkовым и А. Г. Кобилевым (1962). Характерны, в частности, двойной эндотермический эффект выделения воды с максимумами при 205° и 300° и экзотермический пик в точке 500°. По данным В. П. Шашкиной (1958), уже при 400—450° обезвоживание вызывает значительные изменения в кристаллической структуре гейландита и вода полностью выделяется из неё после разрушения кристаллического каркаса, в интервале температур 600—850°.

На дебаеграмме анализированного образца гейландита (табл. 6) часть линий принадлежит брюстериту. Рентгенограмма снята на Fe излучении при выдержке 19 часов.

2. Второй тип гейландита встречается на Саригюхском месторождении агатов и образует обычно тонкие корочки на стенках жеод и жил, а также тончайшие прожилки, секущие андезитовые порфиры. Из других цеолитов здесь с гейландитом ассоциирует морденит. Для этого гейландита очень характерны густой кирпично-красный цвет и параллельно-пластинчатые агрегаты. В иммерсии пластинки гейландита содержат многочисленные сгустковые и пластинчатые включения гематита и гетита. Показатели преломления: $\text{Ng}' = 1,500$, $\text{Nr}' = 1,489$.

Бариегейландит встречается исключительно в липаритовых порфирах, где образует мономинеральные выделения в виде примазок вдоль трещин или неправильных прожилков, мощностью от 2—3 см до 0,5 см. Из минералов поствулканического комплекса с ним ассоци-

Таблица 6

№№ линий п. п.	I	$\frac{dx}{n}$	$\frac{d^2}{n}$	№№ линий п. п.	I	$\frac{dx}{n}$	$\frac{d^2}{n}$
1	2	5,41	4,90	31	6	1,587	1,438
2	3	5,02	4,55	32	6	1,547	1,402
3	8	4,63	4,20	33	1	1,511	1,369
4	5	(4,43	4,02	34	1	1,492	1,352
5	4	4,23	3,84	35	2	1,464	1,327
6	10	3,997	(3,623	36	3ш	1,445	1,310
7	6	3,712	3,365	37	2	1,405	1,273
8	4	(3,487	3,161	38	1	1,387	1,257
9	6	3,365	3,050	39	2	1,372	1,244
10	8	3,154	(2,859	40	4	1,358	1,231
11	10	2,985	2,706	41	3	1,344	1,218
12	7	2,761	2,503	42	2	1,329	1,204
13	3	2,704	2,451	43	4	1,303	1,181
14	5ш	2,548	2,410	44	4	1,274	1,154
15	3ш	2,445	2,216	45	4	1,252	1,135
16	4	2,341	2,122	46	2 разм.	1,239	1,123
17	2	2,271	2,059	47	1	1,219	1,105
18	5	2,206	1,999	48	2	1,208	1,095
19	3ш	2,108	1,911	49	2	1,185	1,074
20	3	2,053	1,861	50	3	1,166	1,057
21	3	2,017	1,828	51	1	1,153	1,045
22	1	1,955	1,772	52	1	1,142	1,035
23	3	1,888	1,712	53	1	1,123	1,018
24	1	1,830	1,659	54	1	1,112	1,008
25	5	1,815	1,645	55	1	1,101	998
26	4	1,773	1,607	56	2ш	1,093	0,994
27	2	1,727	1,565	57	1	1,073	0,972
28	1	1,703	1,544	58	2	1,067	0,967
29	4	1,665	1,509	59	2	1,058	0,959
30	4	1,629	1,477	60	1 разм.	1,043	0,945

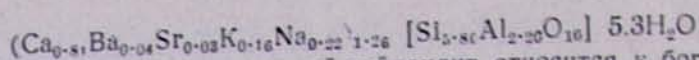
нрует хлорит (прохлорит). Присутствует бариогейландит в форме мелкочешуйчатых, лучистых и листоватых агрегатов, розоватого или красноватого цвета. $d=2,25$.

Под микроскопом видны удлинённые пластинки с четкой спайностью по (010) и характерными сгустковыми или пластинчатыми выделениями тонкодисперсного гематита. По сравнению с описанным выше гейландитом имеет несколько повышенные показатели преломления: $Ng'=1,508$, $Nm=1,504$, $Np'=1,497$; $Ng'=1,505$, $Nm=1,501$, $Np'=1,497$.

Химический состав и кристаллохимическая формула бариогейландита приведены ниже; формула рассчитана на 16 атомов кислорода.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	BaO	SrO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O+	H ₂ O-	Сумма
56,00	18,20	7,34	1,02	0,50	1,10	1,09	12,40	3,00	100,65

Кристаллохимическая формула:



По этим данным описываемый гейландит относится к богатой бариом—разности—бариогейландиту (Х. Штрунц, 1963), особенности состава которой обусловлены изоморфизмом по схеме $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Ba}^{2+} \rightarrow \text{Sr}^{2+}$.

В диффракционной картине бариогейландита (табл. 7) часть линий диагностируется, как линии жисмондина. Рентгенограмма снята на Си—излучении с Ni фильтром при выдержке 6 часов.

Таблица 7

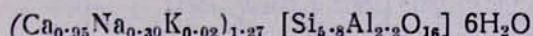
№№ линий	l	$\frac{d\lambda}{n}$	№№ линий	l	$\frac{d\lambda}{n}$	№№ линий	l	$\frac{d\lambda}{n}$
1	4	9,10	15	3	2,492	29	2	1,560
2	3	8,05	16	2	2,378	30	2	1,518
3	3	6,87	17	2	2,288	31	4	1,487
4	5	5,22	18	2	2,208	32	3	1,454
5	1	4,90	19	3	2,118	33	3	1,432
6	2	4,65	20	2	2,009	34	4	1,360
7	10	3,96	21	6	1,964	35	3	1,275
8	1	3,76	22	2	1,865	36	5	1,235
9	5	3,41	23	2	1,820	37	2	1,189
10	5	3,22	24	6	1,770	38	2	1,131
11	2	3,133	25	2	1,720	39	2	1,059
12	10	2,970	26	2	1,692	40	3	1,037
13	7	2,778	27	2	1,645	41	3	0,986
14	5	2,720	28	3	1,590			

Десмин часто встречается в миндалинах мандельштейновых лав и в виде гнезд и прожилков—в цементе вулканических брекчий. Ассоциирует со сколецитом, реже—с леонгардитом и образует сноповидные, лучистые агрегаты или сростки пластинчатых индивидов. Цвет десмина—розовый, розовато-желтый. $d=2,15$. В шлифах десмин представлен волокнистыми и пластинчатыми формами, вытянутыми по (001); в сечениях, перпендикулярных (001), наблюдаются характерные шестиугольные или удлинённые ромбовидные сечения с крестообразными, секториальными двойниками прорастания. Двойниковая плоскость—(100); координаты двойниковой оси: $\text{Ng}=3^\circ$, $\text{Nm}=90^\circ$, $\text{Np}=87^\circ$. Отчётливая спайность по пинакoidу (010). Оптически отрицательный с $2V=36-38^\circ$. Удлинение отрицательное: $c\text{Np}=10-12^\circ$. Показатели преломления: $\text{Ng}'=1,501$, $\text{Nm}=1,497$, $\text{Np}'=1,489$; $\text{Ng}'=1,499$, $\text{Nm}=1,493$, $\text{Np}'=1,485$.

Химический анализ и кристаллохимическая формула десмина, рассчитанная на 16 атомов кислорода, приведены ниже.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	$+\text{H}_2\text{O}$	$-\text{H}_2\text{O}$	Сумма
	55,30	17,30	0,10	0,01	8,43	1,50	0,12	13,90	3,82	100,48

Кристаллохимическая формула:



Приведенная формула десмина соответствует предложенной В. И. Вернадским, Гротом, Винчеллом и другими авторами теоретической формуле. Как отмечает М. Н. Шкабара, состав десминов значительно варьирует в результате изоморфных замещений типа. $\text{Ca}^{2+} \rightarrow 2\text{Na}^{+1}$ или $\text{SiNa}-\text{AlCa}$ и содержание молекул воды в элементарной ячейке в зависимости от условий образований минерала изменяется от 4 до 8, причем с понижением температуры оно увеличивается. По содержанию воды изученный нами десмин относится, таким образом, к относительно низкотемпературному образованию.

Рентгенограмма десмина (табл. 8) снята на Си аноде при выдержке 6 часов.

Таблица 8

№№ линий	l	$\frac{d\alpha}{n}$	№№ линий	l	$\frac{d\alpha}{n}$	№№ линий	l	$\frac{d\alpha}{n}$
1	3	5,46	12	4—5	2,35	22	5	1,439
2	6	4,92	13	4	2,22	23	5	1,357
8	6	4,681	14	7	2,04	24	7	1,302
4	10	4,08	15	5	1,901	25	2	1,276
5	4	3,64	16	6	1,823	26	3	1,253
6	6	3,45	17	4	1,781	27	7	1,236
7	6	3,22	18	2	1,728	28	2	1,092
8	10	3,03	19	4	1,672	29	2	1,067
9	7—8	2,78	20	7	1,593	30	1	1,002
10	6	2,58	21	7	1,550	31	3	0,923
11	5	2,50						

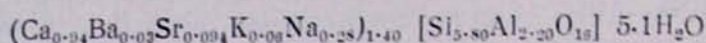
Стеллерит редок и встречается в прожилках в вулканических брекчиях реки Тауш совместно с леогардитом. По внешнему виду, характеру агрегатов, как и по оптическим свойствам, очень близок к десмину ($\text{Ng}'=1,498$, $\text{Nm}=1,492$, $\text{Np}'=1,483$). Отличие от десмина, выявленное при спектральном анализе, состоит в отсутствии или весьма незначительном содержании Na_2O и K_2O .

Брюстерит, являющийся стронциево-бариевой разновидностью десмина, встречается в аналогичных десмину выделениях в ассоциации со сколецитом. Встречен в мандельштейнах и брекчиях в виде розовато-желтых пластинчатых агрегатов. Удельный вес—2,32. Оптически положителен. Показатели преломления по сравнению с приводимыми в справочниках (Винчелл, 1953) понижены: $\text{Ng}'=1,504$, $\text{Nm}=1,487$, $\text{Np}'=1,485$.

Химический состав и рассчитанная на 16 атомов кислорода кристаллохимическая формула брюстерита приведены ниже.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	BaO	ScO	Na ₂ O	K ₂ O	+H ₂ O	-H ₂ O	Сумма
56,00	17,00	8,40	0,80	1,64	1,36	0,40	10,02	4,72	100,36

Кристаллохимическая формула:



Дифференциально-термическая кривая брюстерита обнаруживает характерные для эталонов десминов эндотермический эффект дегидратации при 240° и экзотермический подъем—при 490°. Вместе с тем, для изученного брюстерита отмечается также двойной эндотермический пик при 350° и 380°, отсутствующий на кривых десмина (Иванова, 1961; Ныров и Кобилев, 1962).

Рентгенограмма (табл. 9) снята на Cu аноде с Ni фильтром при выдержке 6 часов.

Таблица 9

№ линий	l	$\frac{d\lambda}{n}$	№ линий	l	$\frac{d\lambda}{n}$	№ линий	l	$\frac{d\lambda}{n}$
1	9	6,3	9	5	2,792	17	6	1,557
2	5	4,77	10	3	2,574	18	2	1,444
3	5	4,26	11	4	2,364	19	4	1,362
4	10	4,16	12	3	2,223	20	6—7	1,308
5	5	3,47	13	4ш	2,063	21	3	1,281
6	4	3,226	14	5	1,828	22	5	1,235
7	4	3,116	15	4	1,788	23	2	1,160
8	10	3,033	16	7—6	1,597			

Морденит исключительно редок и встречается лишь совместно с минералами группы кремнезёма, кальцитом и гейландитом в жеодах и жилородных телах в верхнесантонских андезитах с. Саригюх. Образует светлорозовые или розовато-оранжевые пушистые агрегаты и слагает внутренние части жеода, нарастая на кристаллы кварца и кальцита. Встречаются также тонкие мономинеральные прожилки морденита.

Под микроскопом виден агрегат сложно переплетенных тончайших игольчатых, волосовидных или удлиненно-призматических выделений. Погасание их прямое; удлинение отрицательное. Показатели преломления морденита: $Ng' = 1,474$, $Np' = 1,471$; двупреломление—0,003.

Принадлежность описанного цеолита к мордениту подтверждается результатами рентгенометрического анализа (табл. 10), который проведен на Cu—Ni при выдержке 6 часов.

Таблица 10

№№ линий	I	$\frac{dx}{n}$	№№ линий	I	$\frac{dx}{n}$	№№ линий	I	$\frac{dx}{n}$
1	7	8,74	12	6ш	2,898	23	3	1,300
2	8	6,65	13	4ш	2,702	24	2	1,267
3	4	5,98	14	5ш	2,518	25	3	1,240
4	4	5,64	15	2	2,432	26	3	1,212
5	5	4,64	16	5ш	2,032	27	3	1,185
6	5	4,48	17	3	1,938	28	2	1,146
7	9ш	3,97	18	5	1,885	29	3	1,128
8	4	3,83	19	6	1,794	30	2	1,042
9	10	3,474	20	2	1,590	31	2	0,952
10	4	3,371	21	4	1,521	32	2	0,908
11	8ш	3,204	22	5	1,446			

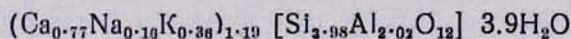
Леонгардит по ряду очень близок к ломониту, отличающийся значительным содержанием щелочей и пониженным количеством воды. Этот минерал относится к числу цеолитов, редко встречающихся в меловых вулканических породах. Беловатые, легко рассыпающиеся агрегаты леонгардита в ассоциации со стеллеритом и селадонитом слагают в цементе брекчий гнезда и крупные прожилки.

В иммерсионном препарате леонгардит раскалывается по спайности вдоль (010) на пластинки и таблички с положительным удлинением. Угол погасания (cNg) составляет 40—42°. Показатели преломления: $Ng'=1,523$, $Nm=1,519$, $Np'=1,516$.

Ниже приведен химический состав леонгардита.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	+H ₂ O	—H ₂ O	Сумма
	50,48	21,55	9,11	1,12	3,80	14,7	=	100,76

Кристаллохимическая формула:



Рассчитанная на 12 атомов кислорода кристаллохимическая формула леонгардита отвечает выведенной А. Е. Ферсманом (1952) и М. Н. Шкабара (1951) формуле. Как видно по приведенной формуле, значительная часть катионов Ca^{+2} изоморфно замещена в леонгардите Na^{+1} и K^{+1} . Это приводит согласно исследованиям многих авторов, к уменьшению количества воды по сравнению с ломонитом, нарушению кристаллической решетки и рассыпанию минерала.

Приведенная рентгенограмма леонгардита (табл. 11) близка к ломониту по В. И. Михееву (1957) и Э. Н. Елисееву и др. (1962), снята на Fe излучении с выдержкой 19 часов.

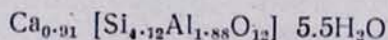
Таблица 1

№ линий	l	$\frac{d\alpha}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	№ линий	l	$\frac{d\alpha}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$
1	6	7,61	6,90	27	1	1,651	1,497
2	2	(4,91)	4,45	28	9	1,571	1,424
3	7	4,468	(4,050)	29	6	1,540	1,396
4	3	(4,266)	3,867	30	5	1,489	1,350
5	9	3,888	(3,524)	31	2	1,471	1,333
6	7	3,530	3,199	32	2	1,459	1,323
7	2-3	3,307	2,998	33	3-3	1,414	1,282
8	2-3	(3,270)	2,964	34	2	1,345	1,219
9	2-3	3,138	2,844	35	1	1,343	1,217
10	2-3	3,001	2,720	36	2	1,313	1,190
11	10	2,955	(2,679)	37	1	1,289	1,168
12	4	(2,723)	2,463	38	4	1,279	1,160
13	3	2,656	2,407	38	2	1,271	1,152
14	9	2,475	(2,243)	40	2	1,251	1,134
15	5	2,415	2,189	41	4	1,239	1,123
16	2	2,314	2,098	42	2	(1,200)	1,087
17	2	(2,198)	1,992	43	1	1,177	1,067
18	2	2,145	1,944	44	3	1,150	1,042
19	8	2,094	1,898	45	4	1,117	1,012
20	7	1,995	(1,808)	46	3ш	1,101	0,998
21	2	(1,940)	1,758	47	9	1,085	(0,984)
22	1	1,900	1,722	48	1	1,068	0,968
23	1	1,869	1,694	49	1	1,055	0,956
24	2	1,780	1,614	50	2дв	1,044	0,946
25	8	1,759	(1,594)	51	3	1,028	0,932
26	2дв	1,671	1,515	52	2	1,001	0,908

Шабазит встречается в обломках мандельштейнов в вулканических breccиях и в виде сплошных масс выполняет мелкие миндалинки пород совместно с томсонитом и более поздним кальцитом. Цвет минерала—ярко-оранжевый, желтовато-красный. В иммерсионных препаратах шабазит бесцветен и имеет ясное двойниковое строение. Двупреломление очень слабое; показатели преломления— $Ng' = 1,495$, $Np' = 1,489$.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	+H ₂ O	-H ₂ O	Сумма
	48,70	18,80	2,00	10,00	1,05	17,30	2,10	99,95

Кристаллохимическая формула:



Судя по химическому составу и рассчитанной на 12 атомов кислорода кристаллохимической формуле изученный шабазит относится к существенно кальцевой разновидности. Присутствие заметных количеств Fe₂O₃ и MgO является для шабазитов характерным и обязано, по мне-

нию некоторых исследователей, обменной форме их нахождения. Недостаток катионов Ca^{+2} в приведенной нами формуле компенсируется, по-видимому, магнием и железом.

Рентгенограмма шабазита (табл. 12) снята на Fe аноде с выдержкой 10 часов.

Таблица 12

№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$
1	5	5,60	5,07	5	4	3,54	3,21
2	3	5,9	4,63	6	6	(3,215)	2,914
3	4	4,31	3,91	7	10 ш	2,904	2,632
4	8	3,95	3,58	8	7	1,799	1,631

В заключение, авторы считают приятным долгом выразить глубокую благодарность за тщательно выполненные химические анализы цеолитов аналитику А. А. Петросян, И. Х. Петросову за любезно выполненные термические анализы, а также Б. М. Меликсетяну за советы и помощь при выполнении исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Винчелл А. Н., Винчелл Г. — Оптическая минералогия ИЛ, Москва, 1953.
- Гвахария Г. Б. — Цеолиты Грузии. Изд. АН Груз. ССР, Тбилиси, 1952.
- Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. — Породообразующие минералы, Изд. 2, т. 4, 1966 г.
- Елисеев Э. Н., Кавич И. В., Мирончук М. Г. — Рентгенометрическое исследование некоторых алюмосиликатных и сульфидных минералов Норильского месторождения. Рентгенография минерального сырья. Сб. 2. Гостгеолтехиздат, 1962.
- Иванова В. П. — Термограммы минералов. Зап. Всес. мин. об-ва, ч. 90, вып. 1, 1961 г.
- Костов Иван, Филизова Людмила — Цеолите в България: ломонит. Годишник на Софийския университет, биол.-геол.-геогр. факультет, т. 11, кн. 2, Геология 1857/1958 (1959).
- Костов Иван — Цеолите в България: анацим, хабазит, хармотом. Годишник на Софийския университет, биол.-геол.-геогр. факультет, т. 55, кн. 2, Геология София, 1962.
- Михеев В. И. — Рентгенометрический определитель минералов. Изд. 2, М., 1957.
- Мнацаканян А. Х. — Некоторые черты верхнемелового вулканизма Северной Армении. Изв. АН Арм. ССР, геол. и геогр. науки, т. XIV, № 3, 1961.
- Мнацаканян А. Х. — Меловые вулканические серии Северной Армении и связанное с ними минералообразование. Автореферат кандидатской диссертации, Ереван, 1964.
- Мнацаканян А. Х. — О цеолитизации верхнемеловых вулканических пород севера Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, науки о Земле, том XVIII, № 5, 1965.
- Ныров А. А., Кобылев А. Г. — Термоаналитическое изучение цеолитов. Тр. 6-го совещания по эксперимент. и техн. минерал. и петрографии, 1961. Изд. АН СССР, 1962.
- Сатян М. А. — Литология и палеогеография меловых отложений междуречья р

- Инджа-су, среднего течения р. Арсез и р. Гаран-су (Северная Армения). Автореферат кандидатский диссерт., Ереван, 1960.
- Ферсман А. Е. — Цеолиты России и их минералогия. ч. IV, 1922. Избранные труды. т. 1, 1952.
- Чунев Димитр Люб. — Томсонит-нов минерал за България. Софийски държавен ун-т, 1960.
- Шашкина В. П. — Цеолиты из базальтов Вольни. Минералогический сборник. № 12. Изд. Львовского ун-та, 1958.
- Шкабара М. Н. — Минералогия крымских и некоторых других месторождений цеолитов. Автореферат докторской диссертации, Харьков, 1951.
- Штрунц Х. — Минералогические таблицы. ИЛ. Госонтехиздат, 1963.
- Peng C. J. Thermal analysis of the notrolite group. Amer. Mineral. vol. 40 № 9 and 10, 1955.