

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ СОСТАВА И СВОЙСТВ У МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ЭВДИАЛИТА

Сложность состава и структуры минералов группы эвдиалита предопределили разнообразие свойств этих минералов. До последнего времени не были известны закономерности зависимости состава и свойств эвдиалитов. Спорным был, например, вопрос о причине разного оптического знака эвдиалитов. Расшифровка кристаллической структуры эвдиалита и уточнение его формулы способствовали новым поискам зависимостей состава и свойств в этой группе минералов. Нами такое исследование продолжено на образцах Хибинского эвдиалита, как использованных в старых исследованиях [1—3], так и новых. Более 200 жильных и породообразующих хибинских эвдиалитов было оптически изучено в иммерсии. Для 30—50 из них определен удельный вес и сделано определение некоторых элементов (Fe, Mn, H₂O) с целью выбора образцов для полных химических анализов. Из более чем 20 образцов эвдиалитов с полными химическими анализами, имеющих в нашем распоряжении, было отобрано 13 образцов, наиболее индивидуализированных по составу и свойствам, у которых физические свойства изучались более подробно.

Подробно изученные эвдиалиты из Хибинского щелочного массива отличаются большим разнообразием состава и свойств. Большинство образцов было собрано нами при работе в Хибинах (1960, 1962, 1966 гг.). Часть образцов (352-Б, 870-Б, 710-Б, 550-Б и др.) любезно передана для исследования Л. С. Бородиным. Образцы представляют все основные комплексы пород Хибинского массива и взяты главным образом из пегматитов.

1. Комплекс хибинитов. 21 — трахитоидный хибинит, Айкуайвентчорр. 718 — трахитоидный хибинит, Тахтарвумчорр. 2. Комплекс ийолит-уртитов. Рас-7 — центральная зона микроклин-эгиринового с нефелином и виллиамитом пегматита. Расвумчорр. 3. Комплекс пойкилитовых нефелиновых сиенитов (рисчорритов Поачвумчоррского типа). 550-Б — микроклин-эгириновый пегматит. Поачвумчорр. 41 — микроклиновый пегматит с поздним эгирином, Поачвумчорр. 4. Комплекс амфиболовых, пироксеновых и слюдяных рисчорритов (Юкспорского типа). УГ-0 — пегматоидный рисчоррит, ущелье Гакмана. 143а — полевошпатовая жила с ринколитом, ущелье Гакмана. 85 — полевошпат-эгириновый пегматит на контакте рисчорритов и фойяитов, Эвеслогчорр. 201п — пегматит с астрофиллитом в рисчорритах, Эвеслогчорр. 5. Комплекс фойяитов. 57 — полевошпат-нефелиновый пегматит в фойяитах, перевал Юкспорлак. 710-Б — альбитит в фойяитах, Большой Ньерпахк. 352-Б — центральная полевошпатовая зона пегматита в фойяитах, Кукисвумчорр. 870-Б — содалитовая жила в фойяитах, р. Вуо-немиок, Каскадный ручей.

Эвдиалит характеризуется следующими макроскопическими особенностями. 21 — выделения и шпировидные скопления неправильной формы до 1 см, цвет красный. 718 — вкрапленность розовых кристаллов неправильной формы. Рас-7 — крупные ярко-малиновые выделения до 2—5 см, местами превращенные в псевдоморфозы цирсиалита и ливо-

зерита. 550-Б — неправильные зерна 1—3 мм малинового цвета. 41 — округлые выделения до 2 см и тонкие прожилки в салатном микроклине, характерны сиреневый цвет и пластинчатый излом. УГ-0 — неправильные удлиненные выделения и вкрапленность до 0,5 см, сиреневый цвет. 143а — ромбоэдрические кристаллы до 1 см среди полевого шпата и ринколита, цвет коричнево-желтый. 85 — крупные в первые см выделения неправильной формы и желтого цвета с оранжевым оттенком. 201п — пластинчатые выделения лилового цвета, постепенно замещающие в краях желтый первичный эвдиалит, образующий округлые скопления до 3 см, погруженные в агрегат нефелина и ярко-зеленого тонковолокнистого эгирина. 57 — округлые до 0,5 см выделения среди нефелина, цвет темно-желтый. 710-Б — хорошо образованные призматические и бочонковидные кристаллики 1—3 мм длиной, светло-желтые, полупрозрачные, вкрапленные в альбитит, 352-Б — коричневые кристаллы призматически-ромбоэдрического габитуса, размером до 1 см, сросшиеся с пластинчатым полевым шпатом, 870-Б — вкрапленность в содалите округлых и пластинчатых выделений до 3—5 мм буро-фиолетового цвета.

У большинства эвдиалитов нет спайности. Совершенная спайность с жемчужным отливом наблюдается у эвдиалита обр. 41. Пепельный оттенок наблюдается на спайных поверхностях у лилового эвдиалита 201п, образующего гомоосевые псевдоморфозы без резких границ (окисление $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{3+}$, увеличение OH) по желтому эвдиалиту без спайности [3].

Все эвдиалиты имеют сходные дебаеграммы в пределах изменчивости, характерной для такой большой минеральной группы.

Среди отобранного для анализа материала (13 образцов) отсутствовали измененные эвдиалиты с пылевидными включениями, видимыми под микроскопом. Образцы 41, 718, 201п, 870 с большим количеством воды в микроскопических зернах, подлежащих исследованию, гомогенны. Образец 201п представляет одну из зон крупных зональных выделений эвдиалита.

Химический состав эвдиалитов

Эвдиалит имеет очень сложный и изменчивый состав [2, 4]. При расшифровке структуры эвдиалита (он оказался ионообменником; с полостями, в которые могут входить различные ионы) была выведена теоретическая формула эвдиалита: каркас $Na_{12}C_6Zr_3Fe_3(Si_3O_9)_2(Si_2O_4(OH)_3)_2$ с добавочными ионами K, Na, Cl, OH и Si [5, 6]. Количество добавочных атомов Si, как и хлора, возможно до 2 и, кроме этого, возможно добавление еще 3 катионов в цеолитные пустоты. Это могут быть в соответствии с [5] атомы Na, K, Ca и TR. Новые данные позволили по-новому осмыслить выполненные нами ранее исследования по химическому составу эвдиалита [2].

Имея данные по размерам элементарной ячейки и плотности проанализированных эвдиалитов, мы смогли пересчитать на формулу по методу Хейя выполненные ранее анализы и некоторые новые, выполненные в аналитической лаборатории ИМГРЭ. Полученные расчетом составы гексагональных элементарных ячеек были пересчитаны на меньшие в три раза объемы ромбоэдрических ячеек, соответствующих вышеуказанной теоретической формуле эвдиалита (табл. 1).

В рассчитанных составах была проведена группировка элементов по позициям их в каркасе и по дополнительным позициям в полостях каркаса.

Позиция Na в каркасе: Na. При его недостатке — замещение на K, Ba, Ca, Mn, H_2O . Позиция Ca в каркасе: Ca, Sr, TR. При их недостатке — замещение на Mg, Na. Позиция Fe^{2+} в каркасе: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg, Mn.

При их недостатке замещение на Ta, Nb, Ti, Zr, Al. Позиция Zr в каркасе: Zr. При его недостатке замещение на Ti, Nb, TR. Позиция Si в каркасе: Si. При его недостатке замещение на Al.

После насыщения всех 48 катионных мест в каркасе к избыточным катионам в полостях относились Si вместе с Al, Fe³⁺ и Fe²⁺, а также K и Na.

При таком распределении катионов руководствовались также следующими соображениями. Возможность замещения «каркасного» Na на Mп в эвдиалитах, высказанная И. Д. Борнеман-Старынкевич [4], подтверждается на нашем материале. Возможность замещения «каркасного» Na на K и (H₂O) доказывается на водно-калиевом эвдиалите (эвколите) (обр. 41), в котором K и H₂O занимают две трети позиций Na₁₂ в каркасе; что, как будет показано далее, приводит к измеренному максимальному объему элементарной ячейки. Не исключено, что вакантные позиции Na заняты протоном (водородом), но это хуже согласуется с большим количеством K и увеличением объема элементарной ячейки. Проведенное нами статистическое исследование распределение Ca в составе эвдиалитов показало, что он в отличие от Na и K характеризуется большим постоянством содержания. Поэтому среди избытка крупных катионов в полостях помещался сначала K (но не более одного на формулу и в единственной, достаточно для него крупной полости), затем Na.

Количество циркония обычно близко к теоретическому или наблюдается его избыток при недостатке Fe²⁺. Поэтому Nb, Ta, Ti замещают

Таблица 1
Химические анализы эвдиалитов и их расчет на формулу

Оксид	Рас-7			718			21		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	48,58	74,610	24,87	51,42	78,709	26,23	49,04	76,287	25,43
Al ₂ O ₃	—	—	—	0,24	0,442	0,15	0,63	1,214	0,40
Fe ₂ O ₃	—	—	—	0,35	0,368	0,13	Не обн.	—	—
FeO	5,20	6,643	2,21	4,30	5,521	1,84	6,20	8,030	2,67
MgO	—	—	—	0,18	0,423	0,14	0,12	0,280	0,09
MnO	0,61	0,756	0,25	1,77	2,273	0,76	0,70	0,934	0,31
CaO	11,30	18,639	6,21	9,75	16,010	5,33	11,38	18,955	6,32
SrO	0,51	0,470	0,16	0,74	0,681	0,23	1,68	1,494	0,50
TR ₂ O ₃	0,18	0,092	0,03	0,10	0,064	0,02	0,98	0,560	0,19
BaO	—	—	—	—	—	—	Не обн.	—	—
K ₂ O	1,20	2,307	0,77	0,30	0,552	0,18	3,30	6,536	2,18
Na ₂ O	14,40	42,906	14,30	14,70	43,615	14,54	9,75	29,319	9,77
H ₂ O ⁺	} 0,50	} 5,167	} 1,72	} 2,70	} 27,570	} 9,19	1,18	12,232	4,08
H ₂ O ⁻							Не обн.	—	—
Nb ₂ O ₅	0,12	0,092	0,03	Следы	—	—	1,00	0,654	0,22
Ta ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	0,02	—	—
ZrO ₂	15,25	11,595	3,87	12,20	9,109	3,03	11,56	8,777	2,93
TiO ₂	0,10	0,092	0,03	0,05	0,046	0,01	0,53	0,654	0,22
Cl	2,60	6,736	2,25	1,12	2,908	0,97	2,15	5,696	1,90
Сумма	100,55			99,92			100,22		
—O-Cl ₂	0,58			0,25			0,48		
Σ	99,97			99,67			99,74		
Аналитик	Н. Г. Шумкова			Н. Г. Шумкова			З. Т. Катаева		

Примечание. 1 — вес.%; 2, 3 — содержание ячейки: 2 — гексагональной, 3 — ромбоэдрической.

Fe²⁺ или Zr в зависимости от их соотношения. Замещения TR→Zr, Mg→Ca, H₂O→Na, Zr→Fe²⁺, Al→Si в позициях каркаса допускались в исключительных случаях, когда все другие пути распределения катионов каркаса исчерпывались. Часто наблюдаемый суммарный избыток катионов, обычно относимых к позициям Zr и Fe²⁺, заставлял излишек их в виде Al и его заместителей Fe³⁺ и Fe²⁺ помещать в полости структуры совместно с дополнительным кремнием. Al и Fe²⁺, Fe³⁺ могут как и Si размещаться в позициях на тройных осях, в центрах колец (Si₃O₂₇).

Как следует из описания структуры [5], большая подвижность трех «ортотетраэдров», входящих в состав девятерного кольца, позволяет помещать в центрах девятерных колец катионы с размерами от ~1 до ~0,4 Å (от Na до Si). Поэтому размещение избыточного Fe²⁺ как и Fe³⁺ и Al в указанных позициях возможно.

Далее рассчитывалась суммарная валентность, которая компенсировалась сначала OH и Cl и затем O (табл. 2). O и OH распределялись в каркасе и полостях, Cl — в полостях. Объединение всех анионов эвдиалита вместе, как это сделала И. Д. Борнеман-Старынкевич [4], не удовлетворяло нас, так как затушевывало связи состава и некоторых физических свойств эвдиалитов. При распределении O, OH и Cl руководствовались следующим. Согласно [5] Cl не может входить в каркас, а размещается в полостях, где для него отведено место (две позиции на одну формулу). В некоторых случаях превышение валентности катионов каркаса сверх теоретической превосходило 6 единиц. Два ука-

УГ-0			550-Б			352-Б		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
50,16	73,773	24,59	49,15	75,563	25,19	47,88	75,303	25,10
0,46	0,813	0,27	1,87	3,510	1,17	0,97	1,887	0,63
2,08	2,298	0,76	1,01	1,108	0,37	0,97	1,132	0,38
3,85	4,729	1,56	5,24	7,113	2,37	4,85	6,322	2,11
0,15	0,354	0,12	0,35	0,739	0,25	He обн.	—	—
1,82	2,245	0,75	0,60	0,739	0,25	2,65	3,539	1,18
11,63	18,350	6,12	12,42	20,415	6,81	10,07	16,986	5,66
0,71	0,628	0,21	—	—	—	0,45	0,377	0,13
0,63	0,380	0,13	0,20	0,092	0,03	2,30	1,321	0,44
0,02	0,018	0,01	—	—	—	—	—	—
1,13	2,086	0,69	2,82	5,542	1,85	1,14	2,359	0,79
13,22	37,726	12,57	11,24	33,717	11,24	10,16	30,952	10,32
0,89	8,733	2,91	1,17	12,101	4,03	1,47	15,381	5,13
0,08	—	—	0,24	—	—	0,14	—	—
0,35	0,265	0,09	—	—	—	1,63	1,132	0,38
0,01	—	—	—	—	—	0,75	0,283	0,09
10,82	7,778	2,59	12,04	8,960	2,98	13,49	10,286	3,43
0,64	0,742	0,28	0,21	0,277	0,09	0,10	0,094	0,03
1,74	4,349	1,45	1,92	4,988	1,66	1,13	2,925	0,97
100,29			100,48			100,15		
0,40			0,43			0,24		
99,89			100,05			99,91		
Г. Е. Черепивская			И. С. Разина			И. С. Разина		

Таблица 1. (окончание)

Оксид	85			870-Б			41		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	48,45	74,466	24,82	46,02	69,825	23,27	51,85	76,349	25,45
Al ₂ O ₃	2,89	5,167	1,72	1,82	3,269	1,09	1,02	1,769	0,59
Fe ₂ O ₃	2,93	3,322	1,11	1,88	2,179	0,73	—	—	—
FeO	2,66	3,414	1,14	—	—	—	3,50	4,335	1,45
MgO	0,19	0,554	0,18	Следы	—	—	0,36	0,708	0,24
MnO	2,17	2,860	0,95	10,78	12,802	4,27	1,36	1,681	0,56
CaO	11,19	18,455	6,15	10,96	17,797	5,93	11,58	18,313	6,10
SrO				—	—	—	1,17	0,973	0,32
TR ₂ O ₃	1,52	0,830	0,28	0,80	0,454	0,15	0,35	0,177	0,06
BaO	—	—	—	0,48	0,272	0,09	—	—	—
K ₂ O	1,13	2,215	0,74	0,46	0,817	0,27	6,38	12,032	4,01
Na ₂ O	11,00	32,655	10,89	7,47	21,883	7,29	3,60	10,262	3,42
H ₂ O ⁺	1,08	11,073	3,69	2,47	24,970	8,32	4,09	40,253	13,42
H ₂ O ⁻	0,08	—	—	0,23	—	—	—	—	—
Nb ₂ O ₅	2,20	1,476	0,49	3,68	2,452	0,82	0,50	0,354	0,12
Ta ₂ O ₅	He обн.	—	—	—	—	—	—	—	—
ZrO ₂	11,84	8,858	2,95	10,99	8,081	2,69	12,71	9,112	3,04
TiO ₂	0,23	0,277	0,09	1,02	1,180	0,39	0,36	0,354	0,12
Cl	0,91	2,307	0,77	0,72	1,816	0,60	2,01	5,043	1,68
Сумма	100,47			99,78			100,84		
—O-Cl ₂	0,18			0,16			0,44		
Σ	100,29			99,62			100,40		
	И. С. Разина			М. Е. Казакова			З. Т. Катаева		

занных обстоятельства не позволили вести расчет так, чтобы отношение катионов и анионов равнялось единице отдельно в каркасе и в полостях. По-видимому, содержимое каркаса и полостей участвует в балансе валентностей в какой-то степени совместно, что характерно и для других каркасных силикатов-ионообменников. Итак, Cl распределяется только в полостях. Распределение O и OH было также вполне определенным. Исходили из того, что кислороду относительно удобнее находиться в каркасе, а группам OH — в полостях. Поэтому 72 анионных положения каркаса насыщались сначала кислородом и, если его не хватало, — группами OH. Если атомов кислорода было более 72 в формуле, то вся анионная часть каркаса оказывалась представленной кислородом, а группы OH и дополнительный кислород размещали в полостях.

Из дополнительных катионов в полостях размещались только Si, Al, Fe, Na, K, из дополнительных анионов в полостях размещались O, OH и Cl. Так получались кристаллохимические формулы эвдиалитов.

Суммарное количество дополнительных катионов (табл. 3) в полостях колеблется в теоретических пределах (0—5), кроме одного случая (обр. 57), у которого эта величина несколько больше (5, 53), и возможно объясняется завышенным определением SiO₂. В восьми случаях количество ΣSi, Al Fe²⁺, Fe³⁺ в полостях колеблется около 2, в остальных случаях оно меньше. Количество K и Na в полостях изменяется от 0 до ~4. В четырех случаях общее количество всех дополнительных катионов близко к насыщенному — величине 5.

Характерной особенностью состава эвдиалитов является превышение суммарной валентности катионов по отношению к теоретической в

57			710-Б			20ln			143a		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
46,46	74,760	24,92	49,44	73,768	24,56	48,29	74,498	24,83	46,15	73,966	24,66
2,38	4,637	1,54	2,72	4,655	1,55	2,60	4,633	1,54	0,80	1,541	0,51
0,62	0,773	0,26	1,47	1,611	0,54	2,88	3,336	1,11	0,43	0,539	0,18
4,51	6,085	2,03	1,22	1,522	0,51	1,89	2,409	0,80	5,88	7,878	2,63
1,64	3,960	1,32	0,35	0,716	0,24	0,35	0,741	0,24	He обн.	—	—
2,36	3,188	1,06	4,58	5,640	1,88	3,87	5,096	1,70	3,05	4,141	1,38
11,11	19,015	6,34	9,93	15,846	5,28	11,81	19,458	6,49	10,20	17,528	5,84
0,75	0,676	0,22	—	—	—				2,32	2,138	0,71
2,33	1,352	0,45	1,16	0,627	0,21	0,45	0,278	0,09	2,25	0,674	0,22
He обн.	—	—	—	—	—	—	—	—	He обн.	—	—
1,41	2,898	0,97	1,35	2,596	0,86	1,35	2,687	0,89	3,13	6,414	2,14
10,25	31,973	10,66	9,47	27,305	9,10	9,45	28,261	9,42	8,98	27,891	9,30
0,72	7,728	2,57	2,97	29,453	9,82	2,02	20,848	6,95	0,92	9,862	3,29
He обн.	—	—	He обн.	—	—	0,15	—	—	—	—	—
2,22	1,642	0,55	1,43	0,985	0,33	2,03	1,390	0,46	2,45	1,734	0,58
He обн.	—	—	1,61	0,627	0,21	He обн.	—	—	0,07	—	—
11,99	9,370	3,12	11,62	8,415	2,81	12,21	9,173	3,39	12,32	9,650	3,23
0,21	0,289	0,09	He обн.	—	—	0,24	0,278	0,09	0,53	0,636	0,21
1,26	2,994	1,00	0,92	2,238	0,75	0,82	2,131	0,71	1,17	3,188	1,06
100,22			100,24			100,41			100,75		
0,25			0,20			0,16			0,28		
99,97			100,04			100,25			100,47		
И. С. Разина			И. С. Разина			И. С. Разина			З. Т. Катаева		

позициях каркаса, которая может достигать величины 6,56 (табл. 2, 4). Значительный избыточный заряд наблюдается в позициях Na и Fe²⁺.

Вместе с валентностью дополнительных катионов избыточная валентность «каркасных» катионов создает значительную избыточную валентность по отношению к валентности катионов нормального каркаса Na₁₂Ca₆Fe₃²⁺Zr₃Si₂₄ — 138. Общая валентность катионов в наших образцах эвдиалитов колеблется от 144,56 до 155,71 (табл. 2).

Суммарное количество анионов, которое колеблется от ~74 до ~80, во всех случаях превышает число анионов каркаса (72). Из табл. 2 видно, что количество кислорода колеблется около величины 72, а в одной трети анализов почти равно ей. Отношение катионов к анионам в эвдиалитах — от 0,625 до 0,694. В большинстве эвдиалитов (особенно с высоким превышением валентности катионов каркаса) анионы каркаса представлены одним кислородом, а в остальных анализах количество групп (ОН) никогда не достигает 6, как в анионной части теоретического каркаса. Максимально в каркасе получено в одном случае 3,62 (ОН). Отношение валентности катионов к валентности анионов в каркасе близко к единице, т. е. состав каркаса и полостей относительно независимы. То же отношение в полостях более разнообразно в связи с меньшим количеством катионов и анионов в полостях (оно зависит от количества кислорода в группе (O, OH, Cl)_п), но величины образуют характерные группировки (рис. 1). Количество атомов, выражаемое целым числом, получается только в каркасе. В полостях количество атомов дробное.

Среднее отношение количества катионов к количеству анионов в полостях равно 0,587.

Таблица 2

Баланс валентностей и количество катионов и анионов в формулах эвдиалитов (в одной формульной единице)

Показатель	Рас-7	718	21	УГ-0	550-Б	352-Б	85	870-Б	41	57	710-Б	201п	143а
Превышение валентности катионов каркаса, ΔWK_K	2,57	0,02	2,47	2,06	2,07	4,18	4,72	6,56	1,93	6,24	4,82	6,21	5,41
Количество катионов в полостях, K_{II}	4,73	4,59	3,23	2,74	4,60	2,67	3,51	0	1,45	5,53	0,70	3,05	3,59
Валентность катионов в полостях, WK_{II}	7,48	11,28	8,45	4,51	10,13	8,03	8,97	0	5,80	11,47	2,66	8,32	7,60
Сумма дополнительных валентностей катионов, ΔWK	10,05	11,30	10,92	6,57	12,20	12,24	13,69	6,56	7,73	17,71	7,48	14,53	13,01
Сумма валентностей катионов (анионов), $WK=WA$	148,05	149,30	148,92	144,57	150,20	150,24	151,69	144,56	145,73	155,71	145,48	152,53	151,01
Общее количество катионов, K	52,73	52,59	51,23	50,74	52,60	50,67	51,51	48	49,45	53,53	48,70	51,05	51,59
Количество (сумма валентностей) OH и Cl , $W(OH, Cl)$	3,97	10,16	5,98	4,36	5,69	6,10	4,46	5,89	3,19	3,57	8,71	7,66	4,35
Сумма валентностей кислорода, WO	144,08	139,14	142,94	140,21	144,51	144,11	147,23	138,67	142,54	152,14	136,77	144,87	146,66
Общее количество кислорода, O	72,04	69,57	71,47	70,10	72,25	72,05	73,61	69,33	71,27	76,07	68,38	72,43	73,33
Общее количество анионов, A	76,01	79,73	77,45	74,36	77,94	78,15	78,07	75,22	74,46	79,64	77,09	80,09	77,68
Отношение количества катионов к количеству анионов, K/A	0,694	0,660	0,661	0,682	0,675	0,648	0,660	0,638	0,665	0,673	0,625	0,637	0,664
Количество кислорода в каркасе, O_K	72	69,57	71,47	70,10	72	72	72	69,33	71,27	72	68,38	72	72
Количество кислорода в полостях, O_{II}	0,04	0	0	0	0,25	0,05	1,61	0	0	4,07	0	0,43	1,33
Количество OH в каркасе, $(OH)_K$	0	2,43	0,53	1,90	0	0	0	2,67	0,73	0	3,62	0	0
Количество OH в полостях, $(OH)_{II}$	1,72	6,76	3,55	1,01	4,03	5,13	3,69	2,62	0,78	2,57	4,34	6,95	3,29
Количество Cl в полостях, Cl_{II}	2,25	0,97	1,90	1,45	1,66	0,97	0,77	0,60	1,68	1,00	0,75	0,71	1,06
Количество O и OH в полостях, $(O, OH)_{II}$	1,76	6,76	3,55	1,01	4,28	5,18	5,30	2,62	0,78	6,64	4,34	7,38	4,62

Таблица 2 (окончание)

Показатель	Рас-7	718	21	УГ-0	550-Б	352-Б	85	870-Б	41	57	710-Б	201п	143а
Сумма валентностей О и ОН в кар- касе, $W(O, OH)_к$	144	141,57	143,47	142,10	144	144	144	141,34	143,27	144	140,38	144	144
Сумма валентностей О и ОН в поло- стях, $W(O, OH)_п$	1,80	6,76	3,55	1,01	4,53	5,23	6,91	2,62	0,78	10,71	4,34	7,81	5,95
Количество О, ОН и Cl в полостях, (O, OH, Cl) _п	4,01	7,72	5,45	2,46	5,94	6,15	6,07	3,22	2,46	7,64	5,09	8,09	5,68
Сумма валентностей О, ОН и Cl в полостях, $WA_п$	4,05	7,73	5,45	2,46	6,19	6,20	7,68	3,22	2,46	11,71	5,09	8,52	7,01
Сумма валентностей катионов кар- каса, $WK_к$	140,57	138,02	140,47	140,06	140,07	142,18	142,72	144,56	139,93	144,24	142,82	144,21	143,41
Отношение валентности катионов к валентности анионов в каркасе, $WK_к/WA_к$	0,976	0,975	0,979	0,986	0,973	0,987	0,991	1,023	0,977	1,002	1,017	1,001	0,996
Отношение валентности катионов к валентности анионов в полостях, $WK_п/WA_п$	1,847	1,459	1,556	1,833	1,636	1,295	1,168	0	2,358	0,979	0,523	0,977	1,084

Таблица 3
Соотношение в количестве $(K)_n$ и валентностях $W(K)_n$ дополнительных катионов в полостях каркаса эвдиалитов (в одной формульной единице)

Формула	Рас-7	718	21	УГ-0	550-Б	352-Б	85	870-Б	41	57	710-Б	201 _n	143а
$(Si, Al, Fe)_n$	1,01	2,23	1,96	0,59	2,17	2,15	2,32	0,145	2,51	0,70	2,22	2,00	
$(Na, K)_n$	3,72	2,36	1,27	2,15	2,43	0,52	1,19	0	3,02	0	0,83	1,59	
$K(Si, Al, Fe, Na, K)_n$	4,73	4,59	3,23	2,74	4,60	2,67	3,51	0,145	5,53	0,70	3,05	3,59	
$W(Si, Al, Fe)_n$	3,76	8,92	7,18	2,36	7,70	7,51	7,78	0,5,80	8,45	2,66	7,49	6,01	
$W(Na, K)_n$	3,72	2,36	1,27	2,15	2,43	0,52	1,19	0	3,02	0	0,83	1,59	
$W(Si, Al, Fe, Na, K)_n$	7,48	11,28	8,45	4,51	10,13	8,03	8,97	0,5,80	11,47	2,66	8,32	7,60	

Таблица 4
Изменение валентностей (против нормальных) в позициях каркаса эвдиалитов (в одной формульной единице)

Обра-зец	Позиции атомов в каркасе					Σ	Обра-зец	Позиции атомов в каркасе					Σ
	Na	Ca	Fe	Zr	Sl			Na	Ca	Fe	Zr	Sl	
Рас-7	0,65	0,03	1,89	0	0	2,57	870-Б	3,43	0,15	3,71	0	-0,73	6,56
718	0,06	-0,40	0,36	0	0	0,02	41	0,60	0,06	1,27	0	0	1,93
21	1,32	0,19	0,96	0	0	2,47	57	3,39	0,45	2,40	0	0	6,24
УГ-0	0,89	0,09	1,03	0,05	0	2,06	710-Б	1,69	-0,06	3,00	0,19	0	4,82
550-Б	1,34	0,03	0,70	0	0	2,07	201 _n	2,52	0,09	3,60	0	0	6,21
352-Б	1,41	0,44	2,33	0	0	4,18	143а	2,15	0,22	3,04	0	0	5,41
85	1,56	0,28	2,88	0	0	4,72							

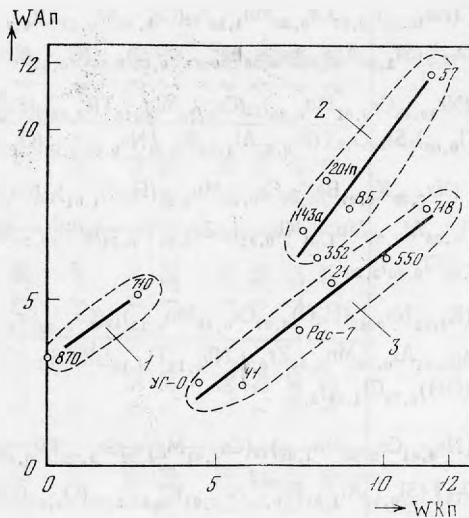
Таблица 5
Химические особенности разновидностей эвдиалитов

Показатель	1	2	3	4	5
Превышение валентности катионов каркаса, ΔWK_K	0—2,5	4—6	5—6,5	2	6
Превышение валентности в позиции Na	0—1,3	1,4—3,4	1,7—3,4	0,6	2,5
Превышение валентности в позиции Fe^{2+}	0,4—2	2,3—3	3—3,7	1,3	3,6
Количество $Mn \rightarrow Na$	0—0,5	1—1,4	1,7—3,3	0,1	1,7
Количество $H_2O \rightarrow Na$	0	0	0,6—1	4	0
Количество $TR \rightarrow Ca$	0—0,2	0,1—0,5	0,15—0,2	0,06	0,09
Количество $K \rightarrow Na$	0—1	0—1	0,3—0,7	4	0,06
Количество $(Nb+Ta+Fe^{3+}) \rightarrow Fe^{2+}$ или Zr	0—1	0,5—1,8	1—1,6	0,24	1,7
Количество $OH \rightarrow O$ в каркасе	0—2,4	0	2,7—3,6	0,7	0
Количество $Na+K$ в полостях, $(Na, K)_n$	1,3—3,7	0,5—3	0	0	0,8
Количество Cl в полостях, Cl_n	1—2,2	0,8—1	0,6—0,7	1,7	0,7
Количество OH в полостях, $(OH)_n$	1—6,8	2,6—5,1	2,6—4,3	0,8	7
Отношение WK_K/WA_K	0,97—0,98	0,99—1	1,02	0,98	1
Отношение WK_n/WA_n	1,46—1,85	0,98—1,3	0—0,5	2,36	0,98

Примечание. Эвдиалиты, обогаченные: 1—щелочами (обр. Рас — 7, 718, 21 УГ-0, 550-Б); 2—Mn, TR, Nb (Обр. 352-Б, 85, 57, 143а); 3— H_2O , Mn, Nb, Fe^{3+} , OH (обр. 870-Б, 710-Б); 4—K, H_2O (обр. 41); 5—Mn, Nb, Fe^{3+} , $(OH)_n$ (обр. 201_n).

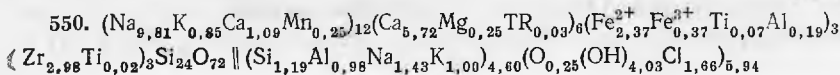
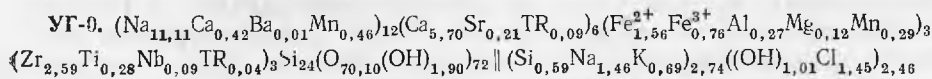
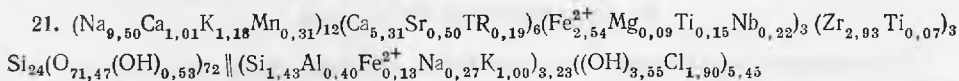
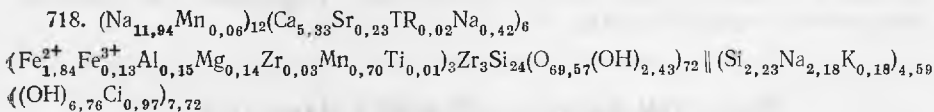
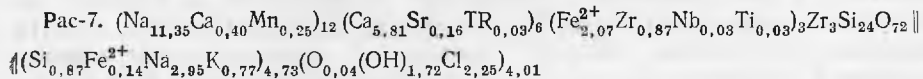
Рис. 1. Соотношение валентности анионов в полостях (WA)_n к валентности катионов в полостях (WK)_n в эвдиалитах

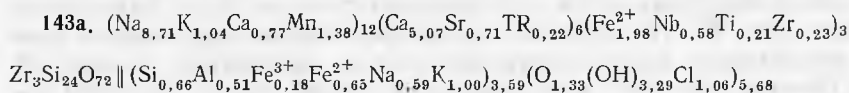
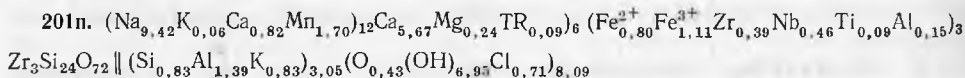
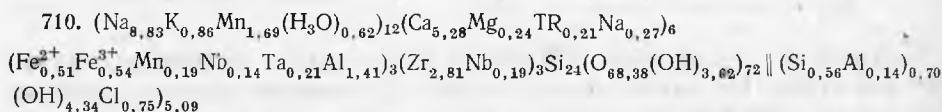
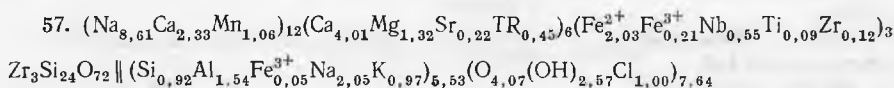
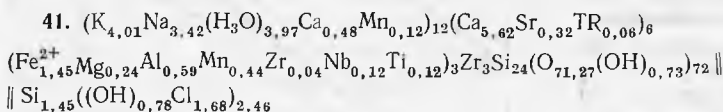
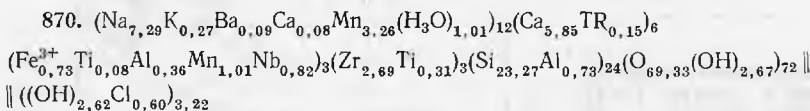
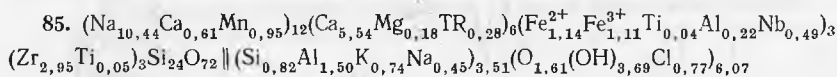
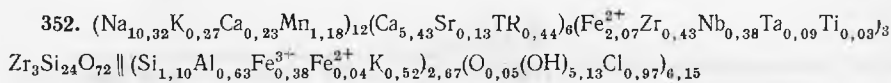
- 1 — эвдиалиты, обогащенные H₃O, Mn, Nb, Fe³⁺, OH;
- 2 — эвдиалиты, обогащенные Mn, TR, Nb или Mn, Nb, Fe³⁺, (OH)_n;
- 3 — эвдиалиты, обогащенные щелочами, а также H₃O



Результаты группировки элементов выражены в кристаллохимических формулах. Их анализ и анализ табл. 2 позволил уловить главные особенности химизма характерных групп эвдиалитов (табл. 5). На нашем материале выделяются следующие химические разновидности эвдиалитов.

1. Эвдиалиты, обогащенные щелочами. Для них характерно высокое общее содержание Na и в меньшей степени K. 2. Эвдиалиты, обогащенные Mn, TR, Nb. Для них характерно высокое суммарное превышение валентности «каркасных» катионов в результате замещений Mn→Na, TR→Ca, Nb→Fe²⁺ или Zr и кислородный состав анионной части каркаса. 3. Эвдиалиты, обогащенные H₃O, Mn, Nb, Fe³⁺, OH. Для них характерно аналогичное значительное превышение валентности «каркасных» катионов (особенно за счет Mn→Na и Fe³⁺, Nb→Fe²⁺), а также значительное замещение H₃O→Na и OH→O в каркасе; низкое содержание катионов в полостях. 4. Эвдиалиты, обогащенные K, H₃O. В таком эвдиалите одна треть позиции Na занята K и одна треть — H₃O. Превышение валентностей «каркасных» катионов незначительно. 5. Эвдиалиты, обогащенные Mn, Nb, Fe³⁺, (OH). Для них характерно максимально полученное количество OH в полостях. По многим химическим свойствам они близки к эвдиалитам второй или третьей группы, отличаясь малым количеством TR, большим количеством Fe³⁺ и отсутствием H₃O в каркасе.





Выделенные группы разновидностей эвдиалитов четко обособляются по химическим характеристикам, приведенным в табл. 5.

Образец 870-Б из 3 группы и обр. 41 (4 группа) по существу являются новыми минералами, так как в образце 870-Б отсутствует Fe^{2+} , замещенное в основном на Mn, Nb и Fe^{3+} , а в обр. 41 две трети позиции Na занято K и H_2O .

Проводилась длительная работа по поискам корреляций между физическими свойствами эвдиалитов и их химическим составом. В результате выявлены различные комплексные химические показатели, которые находятся в наиболее простой зависимости с определенными физическими свойствами эвдиалитов (табл. 6). Комплексный химический показатель N характеризует превышение валентности в каркасе за счет главных замещений в нем. Величины $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})_K$ и $(\text{Na}, \text{K})_P$, $(\text{OH})_P$ показывают содержание некоторых катионов и анионов соответственно в каркасе и полостях. Величина F показывает содержание в эвдиалитах магнитных ионов Fe и Mn.

Параметры элементарной ячейки эвдиалитов и их зависимость от состава

Измерения параметров элементарной ячейки выполнялись по дифрактограммам, которые сняты на дифрактометре ДРОН-1 в Институте экспериментальной минералогии АН СССР. Дифрактограммы получены на отфильтрованном FeK_α -излучении (фильтр Mn) с внешним стандартом — отражением (111) Si. В качестве основы для расчетов взята проиндицированная рентгенограмма эвдиалита из работы [7] с

Таблица 6
Комплексные химические показатели эвдиалитов

Показатель	Рас-7	718	21	УГ-0	550-Б	352-Б	85	870-Б	41	57	710-Б	210п	143а
Замещения в каркасе, N=Мп→Na + TR→Ca + +Nb, Ta, Ti→(Fe ²⁺ или Zr) + Fe ³⁺ →Fe ²⁺	0,34	0,22	0,94	1,72	0,74	2,12	2,92	5,35	0,42	2,36	2,98	3,45	2,39
К и H ₃ O в каркасе, (K, H ₃ O) _к	0	0	1,18	0	0,85	0,27	0	1,28	7,98	0	1,48	0,06	1,04
Si, Al, Fe, Na и K в по- лостях, K _п	4,73	4,59	3,23	2,74	4,60	2,67	3,51	0	1,45	5,53	0,70	3,05	3,59
N—(K, H ₃ O) _к	0,34	0,22	-0,24	1,72	-0,11	1,85	2,92	4,07	-7,56	2,36	1,50	3,39	1,35
Na, K и OH в полостях, (Na, K) _п + (OH) _п	5,44	9,19	4,82	3,16	6,46	5,65	4,88	2,62	0,76	5,59	4,34	7,78	4,88
N + K _п	5,07	4,81	4,17	4,46	5,34	4,79	6,43	5,35	1,87	7,89	3,68	6,50	5,98
F=Fe ²⁺ + Fe ³⁺ + Мп	2,46	2,73	2,98	3,07	2,99	3,67	3,20	5,00	2,01	3,90	2,83	3,49	4,19
(Na, K) _п + (OH) _п —N	5,10	8,90	3,88	1,44	5,72	3,53	1,96	-2,73	0,36	3,23	1,35	7,33	2,49

Таблица 7
Параметры и объем элементарной ячейки эвдиалитов

Образец	$a_0, \text{Å}$	$c_0, \text{Å}$	$a_R, \text{Å}$	$\alpha_R, \text{град.}$	$V_0, \text{Å}^3$	Образец	$a_0, \text{Å}$	$c_0, \text{Å}$	$a_R, \text{Å}$	$\alpha_R, \text{град.}$	$V_0, \text{Å}^3$
Рас-7	14,357	29,86	12,955	67,30	5336,3	85	14,323	29,72	12,90	67,40	5280,0
718	14,392	29,89	12,97	67,38	5361,3	870-Б	14,282	29,57	12,85	67,59	5229,4
УГ-0	14,364	29,92	12,97	67,24	5346,0	41	14,392	29,97	12,99	67,28	5382,1
21	14,344	29,77	12,92	67,40	5304,4	710-Б	14,305	30,04	12,98	66,90	5329,6
550-Б	14,371	29,79	12,94	67,40	5328,0	201п	14,295	29,71	12,89	67,36	5263,7
352-Б	14,344	29,78	12,93	67,40	5306,2	143а	14,357	29,80	12,94	67,40	5319,4
57	14,323	29,75	12,915	67,36	5291,4						

Примечание. a_0, c_0 — параметры элементарной ячейки в гексагональных осях, точность $\pm 0,005$ — $0,01 \text{ Å}$; a_R, α_R — параметры элементарной ячейки в ромбоэдрических осях, точность $a_R \pm 0,005$ — $0,01 \text{ Å}$, $\alpha_R \pm 0,05^\circ$; V_0 — объем гексагональной элементарной ячейки, точность $\pm 0,1 \text{ Å}^3$.

параметрами гексагональной элементарной ячейки a_0 — 14,4, c_0 — 29,7 Å. Параметр a_0 определялся из отражения (3250), параметр c_0 — из отражения (3039). Для расчетов использованы формулы:

$$a_0 = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{\frac{4}{3} (h^2 + k^2 + hk) + \left(\frac{c}{a}\right)^2 l^2},$$

$$c_0 = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{\frac{4}{2} (h^2 + k^2 + hk) \left(\frac{c}{a}\right)^2 + l^2}.$$

Параметр c_0 рассчитывался методом последовательного приближения (дважды). С помощью формул

$$a_R = \frac{a}{3} \sqrt{3 + \left(\frac{c}{a}\right)^2} \quad \text{и} \quad \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{3}{2 \sqrt{3 + \left(\frac{c}{a}\right)^2}}$$

рассчитаны параметры в ромбоэдрических осях.

В табл. 7 даны параметры в гексагональных и ромбоэдрических осях и объем гексагональной элементарной ячейки. Из нее и рис. 2 видно, что наибольший объем элементарной ячейки у обр. 41, обогащенного К и H_2O , замещающих Na. Далее следуют эвдиалиты, в которых наблюдается обогащение щелочами и весьма малое значение химического показателя N (табл. 6) (обр. 718, УГ-0, Рас-7, 550-Б). По мере увеличения N , в особенности за счет замещения Na на Mn, уменьшается объем элементарной ячейки (обр. 143а, 352-Б, 57, 85, 201п). Обр. 21 и 710-Б занимают промежуточное положение. В них сочетается большая величина N с большим содержанием щелочей (обр. 21) или с замещением Na на H_2O (обр. 710-Б). Наименьший объем элементарной ячейки получен у обр. 870-Б, в котором, несмотря на замещение Na на H_2O , наблюдается самое значительное замещение Na на Mn. Параметр a_0 находится в обратной зависимости от величины N (рис. 3), уменьшается с увеличением N (замещение на мелкие ионы в каркасе).

Зависимость удельного веса эвдиалитов от их состава

Удельный вес эвдиалитов измерялся гидростатическим методом и методом поплавка с точностью $\pm 0,01$ — $0,005$. Измерения выполнялись Г. Г. Прохоровой (ИМГРЭ) и Т. Н. Ивановой (МГУ). Удельный вес

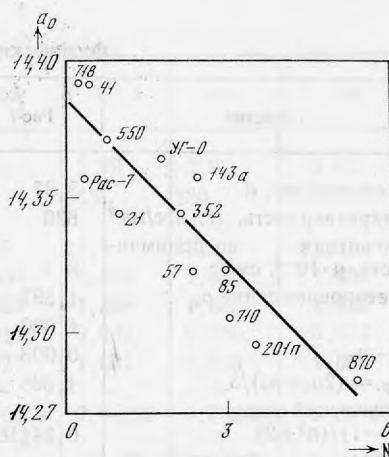
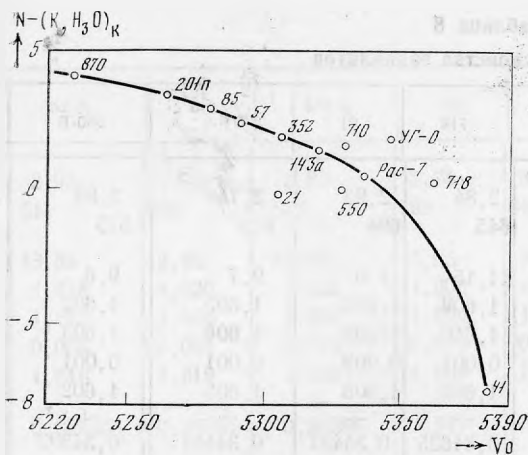


Рис. 2. Зависимость объема элементарной ячейки эвдиалитов от соотношения между замещением катионов каркаса на катионы с большим зарядом и меньшим размером (величина N) и замещением на K и H_2O (величина K, H_2O) $_K$

Рис. 3. Зависимость параметра эвдиалитов a_0 и величины N

образцов изменяется от 2,74 до 3,03 (табл. 8) и увеличивается с увеличением значений $N + K_n$, т. е. с увеличением количества дополнительных катионов в полостях и замещения катионов каркаса на более тяжелые и мелкие катионы (рис. 4).

Зависимость магнитной восприимчивости эвдиалитов от состава

Удельная магнитная восприимчивость эвдиалитов измерялась по методу Фарадея М. Н. Лисуновой (МГУ). Два образца измерены тем же методом Н. В. Добровольской (ВИМС). Все эвдиалиты оказались парамагнетиками с удельной магнитной восприимчивостью в интервале $5-25 \cdot 10^{-6}$ см³/г (табл. 8). Наименьшая магнитная восприимчивость получена для обр. 41, наибольшая — у обр. 870-Б. Корреляция между величиной F — общей суммой магнитных катионов Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn и магнитной восприимчивостью хорошая (рис. 5).

Зависимость микротвердости эвдиалитов от химического состава

Микротвердость эвдиалитов измерялась с точностью ± 10 кгс/мм² на приборе ПМТ-3 в искусственных шлифах, приготовленных из разноориентированных зерен. Измерения на разных зернах усреднялись. Включены ранее выполненные измерения из работы [1]. Новые измерения дополнительных образцов выполнены Т. Н. Ивановой (МГУ). Микротвердость варьирует в пределах $\sim 500-700$ кгс/мм² (табл. 8). Обращает на себя внимание очень низкая твердость обр. 41, обогащенного K и H_2O и обладающего малым превышением валентности каркасных катионов. За исключением обр. 21 микротвердость довольно хорошо коррелирует с величиной $N + K_n$, т. е. она возрастает с замещением катионов каркаса на более мелкие и тяжелые катионы с более высокой валентностью, что увеличивает прочность связей в структуре, и с увеличением дополнительных катионов в полостях структуры (рис. 6).

Таблица 8
Физические свойства эвдиалитов

Свойство	Рас-7	718	21	УГ-0	550-Б
Удельный вес, d	2,87	2,84	2,92	2,74	2,88
Микротвердость, H , кгс/мм ²	636	645	694	615	575
Магнитная восприимчивость, $\mu \cdot 10^{-6}$, см ³ /г	8,1	11,15	11,6	9,7	9,6
Светопреломление n_0	1,597	1,609	1,605	1,605	1,602
n_e	1,600	1,610	1,608	1,606	1,603
$n_g - n_p$	0,003	0,001	0,003	0,001	0,001
$n_{ср.} = (2n_0 + n_e)/3$	1,598	1,609	1,606	1,605	1,602
Оптический знак	+	+	+	+	+
$(n^2 - 1)/(n^2 + 2)$	0,34118	0,34625	0,34487	0,34441	0,34303
Рефракция Лоренца — Лорентца $(n^2 - 1)/(n^2 + 2)/d$	0,118878	0,121919	0,118106	0,125697	0,119107
Цвет	Малиновый	Розовый	Красный	Сиреневый	Малиновый

Зависимость светопреломления эвдиалитов от состава

Светопреломление эвдиалитов измерялось методом фокального экранирования и на приборе ППМ-1 с точностью $\pm 0,001$. Светопреломление эвдиалитов колеблется в широких пределах $\sim 1,600 - 1,650$ (табл. 8). С некоторым разбросом точек, но достаточно определенно устанавливается зависимость между средним светопреломлением и составом: среднее светопреломление $(2n_0 + n_e)/3$ увеличивается с величиной $N + K_n$, т. е. с возрастанием замещения каркасных катионов на более тяжелые и мелкие катионы и с увеличением количества дополнительных катионов в полостях (рис. 7).

При незначительном дупреломлении и оптических аномалиях установление оптического знака эвдиалитов усложняется. В шлифах и иммерсионных препаратах многократно был измерен оптический знак всех образцов. Оптически положительными эвдиалитами оказались образцы Рас-7, 718, 21, УГ-0, 550-Б, т. е. все эвдиалиты, обогащенные щелочами, а также обр. 201п, содержащий около 7 групп (ОН) в полостях. Образцы эвдиалитов, обогащенных Mn, TR, Nb (обр. 552-Б, 85, 57, 143а), оказались оптически отрицательными, т. е. эвколитами. В других группах разновидностей эвдиалитов обр. 41, 870-Б и 710-Б оказались эвколитами.

Не свойственное эвдиалитам повышенное дупреломление наблюдается у эвколита 870-Б и эвдиалита 201п, и это связано с их более поздним изменением (окисление $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{3+}$, увеличение содержания H_2O или ОН). Ранее нами наблюдалось подобное увеличение дупреломления при гомоосевом (без разрушения структуры) псевдоморфном изменении эвдиалита [3]. Возможно, такое дупреломление носит аномальный характер (аномальные цвета интерференции наблюдаются), так как попадает в полосу поглощения. У обр. 870-Б и 201п интенсивный плеохроизм.

И. Д. Борнеман-Старынкевич [4] связывала появление отрицательного оптического знака эвдиалитов с повышенным содержанием TR. И, хотя многие эвколиты содержат повышенное количество TR, оптический знак определяется особенностями всего химического состава эвдиалитов. Появлению отрицательного оптического знака способствуют замещения $Mn \rightarrow Na$, $(Nb + Ta + Ti + Fe^{3+}) \rightarrow Fe^{2+}$ или Zr , $TR \rightarrow Ca$, т. е.

352-Б	85	870-Б	41	57	710-Б	201п	143а
2,95 611	2,91 600	2,87 658	2,74 492	3,03 640	2,79 545	2,93 580	3,02 693
13,35 1,618 1,612 0,006 1,616 —	12,65 1,620 1,616 0,004 1,619 —	24,95 1,652 1,640 0,012 1,648 —	5,05 1,602 1,594 0,008 1,599 —	15,25 1,630 1,620 0,010 1,627 —	11,4 1,602 1,599 0,003 1,601 —	15,3 1,620 1,630 0,010 1,623 +	13,3 1,635 1,628 0,007 1,633 —
0,34945	0,35081	0,36385	0,34164	0,35444	0,34257	0,35263	0,35715
0,118457 Коричне- вый	0,120553 Желтый	0,126777 Буро-фиолето- вый	0,125051 Сиреневый	0,116976 Желтый	0,122785 Желтый	0,120351 Лиловый	0,118262 Коричнево- желтый

возрастание величины N , а появлению положительного оптического знака увеличение в полостях количества K , Na и OH . Однако многочисленные другие примеси в составе каркаса и содержимого полостей несколько искажают эту зависимость (рис. 8). Зависимость между оптическим знаком и светопреломлением отсутствует. Это лишний раз доказывает, что оптическая анизотропия эвдиалитов зависит от большого количества сочетающихся химических показателей.

Заключение

Изучение физических свойств и состава значительного количества Хибинских эвдиалитов различного генетического положения позволило подобрать 13 образцов эвдиалита с большим разнообразием состава и свойств, изучение которых существенно расширяет представление о зависимостях состава и свойств минералов группы эвдиалита. Среди этих образцов оказались такие, в которых $Fe^{3+} > Fe^{2+}$, $Mn > Fe^{2+}$, $K > Na$, а также с существенным содержанием TR , Nb и H_2O (H_2O и OH). Эти данные вместе с данными о редкоземельном эвдиалите (эвколите) [8] и о гидроэвдиалите [9] дают представление о сложности состава эвдиалитов.

В табл. 9 обобщены физические свойства химических разновидностей эвдиалитов. Обогащенный K и H_2O эвдиалит обладает наиболее индивидуальным набором свойств. Хорошо согласуются большой размер элементарной ячейки, низкие удельный вес, светопреломление, микротвердость и магнитная восприимчивость. Несколько больше величины всех соответствующих свойств, кроме объема элементарной ячейки у эвдиалитов, обогащенных щелочами. Они еще выше, а объем элементарной ячейки еще меньше, у эвдиалитов, обогащенных Mn , TR , Nb . Эвдиалиты, обогащенные H_2O , Mn , Nb , Fe^{3+} , OH , занимают промежуточное положение между тремя предыдущими группами. Все их физические свойства колеблются в широком диапазоне. Эвдиалит, обогащенный Mn , Nb , Fe^{3+} , $(OH)_n$, отличается от последних оптическим знаком.

Таким образом, на физические свойства эвдиалитов существенно влияют: 1) превышение валентности различных катионов в позициях каркаса; 2) количество различных катионов в полостях; 3) замещение в каркасе K , $H_2O \rightarrow Na$; 4) количество групп (OH) в полостях; 5) сумма Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn .

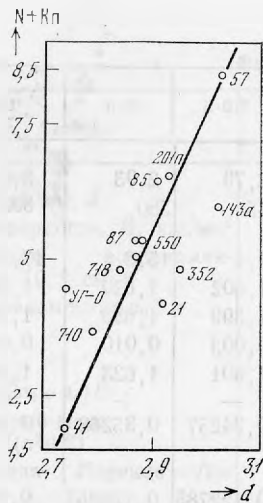


Рис. 4. Зависимость удельного веса d эвдиалитов и величины $N+K_{II}$

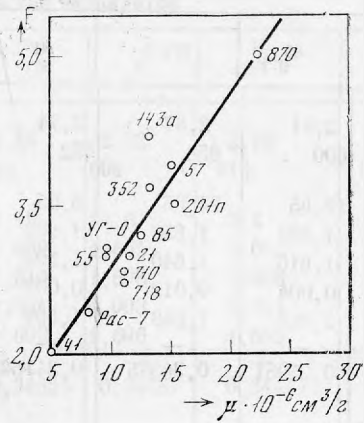


Рис. 5. Зависимость магнитной восприимчивости $\mu \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$ и суммы магнитных атомов эвдиалитов F

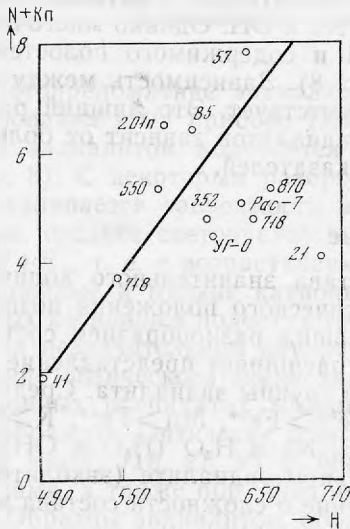


Рис. 6. Зависимость микротвердости H (кгс/мм²) эвдиалитов и величины $N+K_{II}$

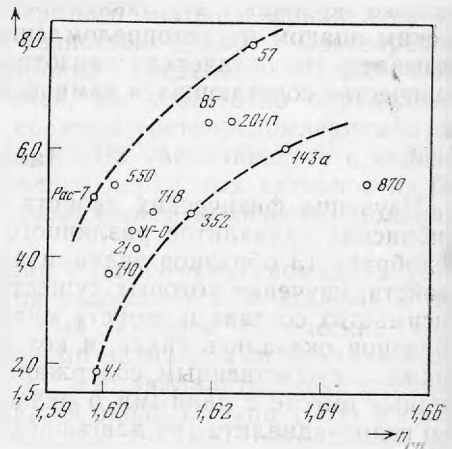


Рис. 7. Зависимость среднего светопреломления n_{sp} эвдиалитов и величины $N+K_{II}$

Оптически положительные эвдиалиты обладают избытком K , Na и OH в полостях. Оптически отрицательные эвдиалиты (эвколиты) имеют значительное превышение валентности у катионов каркаса. Термин «эвколит» нельзя употреблять для обозначения определенной минеральной разновидности, а только для обозначения оптически отрицательных разновидностей эвдиалитов.

На физические свойства эвдиалита влияет также количество окисленного марганца ($Mn^{2+} \rightarrow Mn^{3+}$). При этом резко возрастает светопреломление (обр. 870-Б, 201п) и появляется ярко выраженный плеохроизм (обр. 870-Б, No — розово-желтая, Ne — фиолетовая; обр. 201п, Na — желтая, Ne — лиловая). Определение количественного соотношения между Mn^{2+} и Mn^{3+} позволит уточнить зависимости состава и свойств эвдиалитов. Об окислении части марганца в обр. 870-Б и 201п говорит

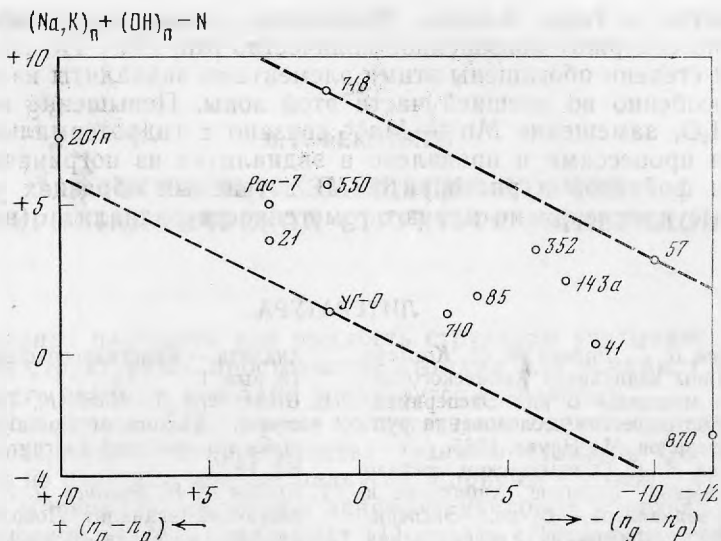


Рис. 8. Зависимость оптического знака и двойного лучепреломления и величины $-(N - (Na, K) - (OH)_{II})$ эвдиалитов.

их спектр поглощения с Mn^{3+} [3] и замеченное ранее [2] затруднение растворения этих эвдиалитов в кислотах (увеличение ковалентности связи).

По особенностям состава и свойств группа эвдиалита не менее сложна, чем, например, группа турмалина.

Химические особенности Хибинского эвдиалита хорошо увязываются с химическими особенностями пород массива. Обогащенный щелочами (особенно натрием) малиновый эвдиалит встречается в зоне ийолитуртитов. Красный эвдиалит зоны хибинитов несколько менее обогащен натрием. Значительное количество калия характерно для эвдиалитов из пойкилитовых нефелиновых сиенитов горы Поачвумчорр. Здесь же найден калий-оксониевый эвдиалит. Эвдиалиты из зоны слюдяных и других

Таблица 9
Физические свойства химических разновидностей эвдиалитов

Свойство	1	2	3	4	5
Объем элементарной ячейки, $V_0, \text{Å}^3$	5304,4—5361,3	5280,0—5319,4	5229,4—5329,6	5382,1	5263,7
Удельный вес, d	2,74—2,92	2,91—3,03	2,79—2,87	2,74	2,93
Микротвердость, H , кгс/мм ²	575—694	600—693	545—658	492	580
Магнитная восприимчивость, $\mu \cdot 10^{-6}$	8,1—11,6	12,65—15,25	11,4—24,95	5,05	31,7
Светопреломление, n_0	1,597—1,609	1,618—1,635	1,602—1,652	1,602	1,620
n_a	1,600—1,610	1,612—1,628	1,599—1,640	1,594	1,630
$n_\gamma - n_\rho$	0,001—0,003	0,004—0,010	0,003—0,012	0,008	0,010
Оптический знак	+	—	—	—	+
Цвет	Малиновый, красный, сиреневый, розовый	Красно-бурый, желто-коричневый	Лилво-фиолетовый, желтый	Сиреневый	Лиловый

Примечание. Эвдиалиты обогащенные: 1 — щелочами; 2 — Mn, TR, Nb; 3 — H₂O, Mn, Nb, Fe³⁺, OH; 4 — K, H₂O, 5 — Mn, Nb, Fe³⁺, (OH)_{II}.

рисchorритов на горах Юкспор, Эвеслогчорр имеют изменчивый состав, но обычно содержат повышенное количество Mn, Fe³⁺, TR, Nb. Еще в большей степени обогащены этими элементами эвдиалиты из зоны фойзитов, особенно во внешней части этой зоны. Повышение количества OH и H₂O, замещение Mn²⁺→Mn³⁺ связано с гидротермальными вторичными процессами и проявлено в эвдиалитах из пограничных областей зон фойзитов и рисchorритов. В изучаемых образцах указанные вторичные изменения не меняют гомогенности эвдиалита (ионный обмен).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фекличев В. Г., Разина И. С., Катаева З. Т. Типы эвдиалитов Хибинского щелочного массива.— В кн.: Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М.: Наука, 1965.
2. Фекличев В. Г. О химическом составе и химической формуле хибинских и других эвдиалитов.— В кн.: Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М.: Наука, 1965.
3. Фекличев В. Г. Оптические свойства хибинских и других эвдиалитов.— Труды ИМГРЭ, 1963, вып. 15.
4. Борнеман-Старынкевич И. Д. Эвдиалит.— В кн.: Изоморфизм в минералах. М.: Наука, 1975.
5. Голышев В. М., Симонов В. И., Белов Н. В. О кристаллической структуре эвдиалита.— Кристаллография, 1971, т. 16, вып. 1.
6. Giuseppetti G., Mazzi F., Tadini C. The crystal structure of Eudialyte.— *Tschermaks Mineral and Petrogr. Mitt.*, 1971, Bd. 16.
7. Буссен И. В., Рогачев Д. А. Породообразующий эвдиалит Ловозерского щелочного массива.— В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова, № 5. Л.: Наука, 1967.
8. Анненкова Г. А., Молева В. А. О редкоземельном эвколите из Хибин.— Труды Минералогического музея АН СССР им. А. Е. Ферсмана, вып. 14, 1963.
9. Ефимов А. Ф., Кравченко С. М., Владова Е. В. К минералогии щелочных пегматитов Инаглиского массива.— Труды ИМГРЭ, вып. 16, 1963.