

Пеков И. В., Турчкова А. Г., Чуканов Н. В. и др. Шабазит-Sr (Sr,Ca)[Al<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>] · 6H<sub>2</sub>O — новый цеолит из Ловозерского массива, Кольский полуостров // ЗВМО. 2000. Вып. 4. С. 54—58.

Хомяков А. П. Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 196 с.

Coombs D. S., Alberti A., Armbruster T. e. a. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names // Canad. Miner. 1997. Vol. 35. P. 1571—1606.

Galli E., Passaglia E., Zanazzi P. F. Gmelinite: structural refinements of sodium-rich and calcium-rich natural crystals // Neues Jahrb. Miner. Monatsh. 1982. H. 4. P. 145—155.

Khomyakov A. P. Mineralogy of hyperagpaitic alkaline rocks. Oxford: Clarendon Press, 1995. 224 p.

Vezzalini G., Quartieri S., Passaglia E. Crystal structure of a K-rich natural gmelinite and comparison with the other refined gmelinite samples // Neues Jahrb. Miner. Monatsh. 1990. H. 11. P. 504—516.

Поступила в редакцию  
25 января 2001 г.

УДК 549.657

ЗВМО, № 3, 2001 г.  
Proc. RMS, N 3, 2001

© Д. чл. И. В. ПЕКОВ,\* Е. В. ЛОВСКАЯ,\* Н. В. ЧУКАНОВ,\*\* А. Е. ЗАДОВ,\*\*\* В. Н. АПОЛЛОНОВ,\*\*\*\*  
д. чл. Д. Ю. ПУЩАРОВСКИЙ,\* О. ФЕРРО,\*\*\*\*\* С. А. ВИНОГРАДОВА \*

### КУРГАНТАИТ CaSr[B<sub>5</sub>O<sub>9</sub>]Cl · H<sub>2</sub>O: ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТАТУСА МИНЕРАЛЬНОГО ВИДА И НОВЫЕ ДАННЫЕ<sup>1</sup>

I. V. PEKOV, E. V. LOVSKAYA, N. V. CHUKANOV, A. E. ZADOV, V. N. APOLLONOV,  
D. Yu. PUSCHAROVSKY, O. FERRO, S. A. VINOGRADOVA. KURGANTAITE CaSr[B<sub>5</sub>O<sub>9</sub>]Cl · H<sub>2</sub>O:  
REVALIDATION OF THE MINERAL SPECIES AND THE NEW DATA

\* Московский университет, геологический факультет, 119899, Москва, Воробьевы горы

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

\*\*\* НПО «Регенератор», 127018, Москва, ул. Складочная, б, к. 302

\*\*\*\* Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,

109017, Москва, Старомонетный пер., 35

\*\*\*\*\* Пизанский университет, Пиза, Италия

By revalidation of the earlier wrongly discredited mineral species, kurgantaite has been accepted by the Commission on New Minerals and Mineral Names of the IMA; thus, the term «strontiohilgardite» become a synonym of kurgantaite. Kurgantaite was firstly described by Ya. Ya. Yarzhemsky in 1952; it's a cation-ordered CaSr-member of the hilgardite family with idealized formula: CaSr[B<sub>5</sub>O<sub>9</sub>]Cl · H<sub>2</sub>O (Z = 1). Four neotype specimens are studied: from evaporitic rocks of Inder (2) and Chelkar (1) boron deposits in Western Kazakhstan and Nepskoe potassium deposit, Siberia, Russia (1); this collection includes type specimen of Yarzhemsky's kurgantaite from Inder. The mineral is transparent, colourless or white; streak white; lustre vitreous; Mohs' hardness 6—6.5; brittle; cleavage medium; fracture rough. Optically weakly biaxial, positive; α 1.637(1), β 1.638(1), γ 1.675(1); 2V<sub>meas</sub> < 10°. D<sub>meas</sub> = 2.99(1), D<sub>calc</sub> = 3.07(1) g/cm<sup>3</sup>. Empirical formulae of the most detail studied samples are (from microprobe data, H<sub>2</sub>O — from structural data): Ca<sub>1.01</sub>Sr<sub>0.98</sub>B<sub>5.02</sub>O<sub>9</sub>Cl<sub>1.04</sub> · H<sub>2</sub>O (Inder); Ca<sub>1.04</sub>Sr<sub>0.98</sub>B<sub>4.99</sub>O<sub>9</sub>Cl<sub>1.01</sub> · H<sub>2</sub>O (Nepskoe). Crystal structure is studied, R = 0.045. Triclinic, space group P1, unit cell parameters: a = 6.573(1), b = 6.445(1), c = 6.369(1) Å, α = 60.995(2), β = 61.257(2), γ = 77.191(2)°, V = 206.9(1) Å<sup>3</sup>; 1A-polytype. Ca and Sr are completely ordered into two non-equivalent sites in different channels of zeolite-like B<sub>5</sub>O<sub>9</sub>-framework. The strongest reflexes of X-ray powder diagram (d, Å — I — hkl): 5.69—8—100,010; 3.22—9—112, 1 $\bar{1}$  $\bar{1}$ , 201; 3.13—7—211,01 $\bar{1}$ ,121; 2.92—10—200; 2.84—9—020; 2.79—8—102,122. IR spectrum is given.

Кургантаит был описан в качестве нового минерала Я. Я. Яржемским в 1952 г. Дальнейшая история этого бората оказалась достаточно сложной, и до настоящего времени он не рассматривался как самостоятельный минеральный вид. Однако полученные нами на первоначальном (типовом) и новом материале данные однозначно показали, что дискредитация кургантаита явилась ошибочной и индивидуальность его среди других членов семейства хильгардита несомненна. Комиссия по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации

<sup>1</sup> Рассмотрен и одобрен Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 4 июля 2000 г.

рассмотрела наше предложение о реабилитации кургантаита, и единогласным решением от 4 июля 2000 г. его статус как минерального вида восстановлен.

Минералы семейства хильгардита, водные пентабораты кальция с дополнительным анионом — хлором или гидроксиллом — нередко содержат стронций, причем его количество подчас очень значительно. При изучении химического состава минералов данного семейства из соляных месторождений Западного Казахстана и Сибири мы обратили внимание на то, что в некоторых образцах, включая оригинальный кургантаит, атомное соотношение  $Ca : Sr$  весьма устойчиво и близко к 1.0. Такое же  $Ca/Sr$  отношение наблюдается и в ряде ранее опубликованных анализов минералов семейства хильгардита. Эти факты привели к предположению об упорядоченном размещении катионов в структуре минерала. Решение кристаллической структуры минерала такого состава из Непского месторождения (Сибирь) однозначно подтвердило это предположение. Таким образом, мы имеем дело с самостоятельным минеральным видом в семействе хильгардита. Для него представляется наиболее правильным сохранить название **кургантаит**, данное первооткрывателем — Я. Я. Яржемским.

В рассматриваемое семейство, по принятой классификации С. Гхоза, входят три политипные модификации хильгардита  $Ca_2[B_5O_9]Cl \cdot H_2O$ : хильгардит-4М, хильгардит-3А (бывший парахильгардит), хильгардит-1А, а также тыретскит  $Ca_2[B_5O_9](OH, Cl) \cdot H_2O$ , представленный 1А-политипом и рассматриваемый как гидроксильный аналог хильгардита-1А (Davies, Machin, 1968; Ghose, 1985; Nickel, 1993). Тыретскит встречен в единственном месте — близ ст. Тыреть в Сибири, в галито-доломитовой породе (Иванов, Яржемский, 1954; Кондратьева, 1964), хильгардит же сравнительно распространен в бороносных эвапоритах, хотя отмечается, как правило, в небольших количествах. Его находки известны в США (Луизиана), Канаде (Нью-Брансвик), Северной Германии, Западном Казахстане и в Сибири.

Минералы семейства хильгардита являются характерными концентраторами стронция в боросодержащих эвапоритовых толщах. Примесь  $SrO$  в количествах до 2—3 % является для них обычной, до 8—12 % — нередкой, а целая группа анализов обнаруживает содержания  $SrO$  в пределах 20—27 % (Иванов, Яржемский, 1954; Лобанова и др., 1958; Braitch, 1959; Кондратьева, 1964; Мельницкий, 1976; Малинко и др., 1981, 1991; Яржемский, 1984; Rachlin e. a., 1986; наши данные). Первым описанием стронцийсодержащего члена этого семейства является работа Я. Я. Яржемского, опубликованная в 1952 г. Именно в ней охарактеризован новый минерал — кургантаит, впервые встреченный в 1943 г. в гипсово-ангидритовой толще на участке Западный Курган-тау Индерского поднятия в Северном Прикаспии (Западный Казахстан) и названный по месту находки. Минерал из Курган-тау образует мелкокристаллические округлые желваки до 3—4 см в диаметре, находящиеся в серой гипсово-ангидритовой породе. Желваки эти белые, достаточно твердые, в шлифах видно, что они содержат многочисленные вростки ангидрита и гипса. По результатам химического анализа загрязненной сульфатами пробы ( $B_2O_3$  36.08,  $CaO$  17.34,  $SrO$  32.66,  $SO_3$  6.07, п. п. п. 7.5, сумма 99.95 %; хлор не определялся) Я. Я. Яржемский заключил, что он имеет дело с новым  $CaSr$ -боратом, отвечающим формуле  $(Sr, Ca)_2B_4O_8 \cdot H_2O$  (Яржемский, 1952). Принадлежность кургантаита к структурному типу хильгардита была установлена по порошковым рентгеновским данным В. В. Кондратьевой (1964), предложившей для него формулу  $(Ca, Sr)_2[B_5O_8(OH)_2/Cl]$  (Кондратьева, 1969). В 1959 г. О. Брайч охарактеризовал из соляной толщи Райерсхаузена в Северной Германии стронциохильгардит — минерал с формулой  $(Ca, Sr)_2[B_5O_8(OH)_2Cl]$  и содержанием  $SrO$  20—25 % (Braitch, 1959). Позже под названием стронциохильгардит описывались высокостронциевые члены семейства из Казахстана и Сибири (Кондратьева, 1964; Малинко и др., 1981) — табл. 1. И. М. Руманова и З. П. Разманова, занимавшиеся монокристалльным рентгеновским исследованием триклинных членов семейства хильгардита, впервые предположили для кургантаита упорядочение  $Ca$  и  $Sr$  и предложили формулу  $CaSrB_5O_9Cl \cdot H_2O$  (Руманова, Разманова, 1987). К настоящему времени со  $Sr$ -содержащими минералами в семействе хильгардита сложилась весьма запутанная ситуация: так, А. М. Кларк отнес

Химический состав (мас. %) кургантаита  
Chemical composition of kurgantaite

Компонент	Анализ							
	1	2	3	4		5	6	7
				а	б			
CaO	14.79	14.69	15.06	18.64	16.13	15.60	15.23	16.61
SrO	27.32	26.43	26.34	22.85	25.39	22.16	23.92	20.28
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45.88	45.31	44.93	41.73	46.36	47.60	46.08	46.85
Cl	9.36	9.58	9.22	8.50	9.44	10.11	8.30	10.75
H <sub>2</sub> O	4.75	4.69*	4.65*	4.32	4.81	4.30	4.84	5.49
-O=Cl <sub>2</sub>	-2.10	-2.16	-2.08	-1.92	-2.13	-2.28	-1.87	-2.43
Сумма	100.00	98.54	98.12	100.00**	100.00	97.49	96.60	97.55***

Формульные коэффициенты, расчет на 5 атомов бора

Ca	1	1.01	1.04	—	1.08	1.02	1.03	1.10
Sr	1	0.98	0.98	—	0.92	0.78	0.87	0.72
B	5	5	5	—	5	5	5	5
Cl	1	1.04	1.01	—	1.00	1.04	0.88	1.12
H <sub>2</sub> O	1	1.00*	1.00*	—	1.00	0.87	1.04	1.13

Примечание. Ан. 1 — CaSrB<sub>5</sub>O<sub>9</sub>Cl · H<sub>2</sub>O, теоретический состав; ан. 2, 3 — данные настоящей работы, полученные электронно-зондовым методом (Camebax micro beam, аналитик И. М. Куликова), \* — содержание воды расчетное; ан. 4—7 — «стронциохильгардит», литературные данные, по результатам весового химического анализа; ан. 2 — Западный Курган-тау, Индер, Западный Казахстан; ан. 3 — Непское, Сибирь; ан. 4 — Райерсхаузен, Германия: а — с примесью ангидрита, \*\* — в сумму анализа входит также 5.88 % SO<sub>3</sub> (Braitsch, 1959); б — тот же анализ после вычитания примеси ангидрита и приведения суммы к 100 %; ан. 5, 6 — Челкар, Западный Казахстан, по данным Н. П. Авровой с соавторами (Малинко и др., 1991); ан. 7 — Коршуновское, Сибирь (Малинко и др., 1981); \*\*\* — сумма дана после вычета механических примесей.

стронциохильгардит (несмотря на высокие содержания хлора) и кургантаит к Sr-разновидностям тыретскита; Р. Ходенберг и Р. Кюн считали кургантаит смесью Sr-тыретскита с целестином (Clark, 1993); С. В. Малинко с соавторами предлагали называть Sr-разновидности хильгардита с содержаниями SrO до 10 % стронцийсодержащим хильгардитом, а с более высокими концентрациями стронция — стронциохильгардитом (Малинко и др., 1991). Видимо, в силу того что во всех опубликованных корректных анализах минералов семейства хильгардита кальций по валовому количеству преобладает над стронцием, стронциохильгардит и кургантаит как самостоятельные Sr-доминантные минеральные виды ни одним исследователем до сегодняшнего дня не рассматривались.

Авторами изучено 16 образцов минералов семейства хильгардита: 12 — из Непского калийного месторождения в Сибири и по два — из эвапоритов соляных куполов Индер и Челкар в Западном Казахстане. Четыре образца в этой коллекции оказались представленными минералом с соотношением Ca:Sr = 1. Порошковые рентгенограммы и ИК-спектры их близки между собой, но отличаются от порошковых и спектров всех прочих образцов. Исследование структуры такого кристалла из Непского месторождения показало упорядоченное распределение Ca и Sr. Четыре изученных образца рассматриваются нами как неотипы кургантаита, т. е. материал, на котором проведены исследования, «восстанавливающие в правах» этот незаслуженно дискредитированный минерал.

Два образца из Западного Курган-тау, Индер, хранятся в коллекции Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве. На их этикетках значится название «кургантаит». Один из них (Систематическая коллекция, № 58140) является даром В. В. Лобановой, второй находится под № 7066 в хранящейся в Музее коллекции замечательного минералога В. И. Степанова, которому он был передан

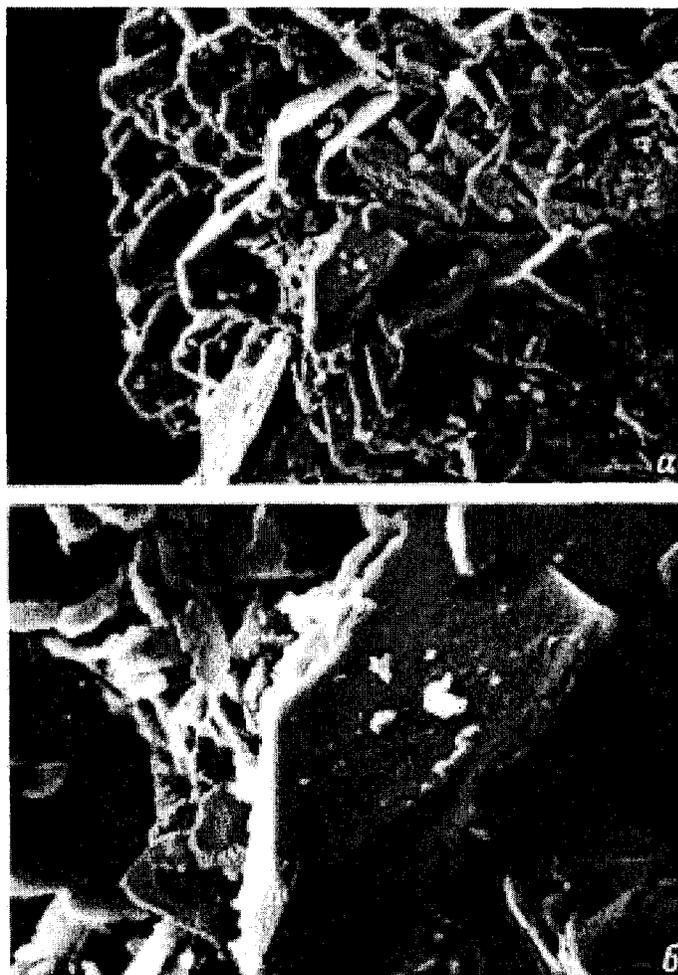


Рис. 1. Кристаллы кургантаита, Челкар, Западный Казахстан. РЭМ-фото.

*a* — увел. 20, *б* — увел. 100.

Fig. 1. Kurgantaite crystals, Chelkar, W. Kazakhstan. SEM-photo. Magnification: *a* — 20 $\times$ , *б* — 100 $\times$ .

Я. Я. Яржемским. Судя по авторской этикетке, это один из оригинальных образцов кургантаита (type specimen). В обоих штуфах минерал слагает белые желвачки до 1 см, имеющие тонкозернистое строение. Они вырастают в серую гипсово-ангидритовую породу и рассечены прожилками гипса.

Кургантаит из Челкара, представляет собой бесцветные сферолиты-«ежики» диаметром до 0.5—0.7 мм и их сростки, извлеченные из нерастворимого остатка соляной породы. Индивиды минерала имеют пирамидальные и клиновидные головки (рис. 1). Образец происходит из коллекции В. И. Степанова и не имеет реестрового номера, но сопровождается пометкой «рентгеновский эталон стронциохильгардита И. И. Халтуриной».

Кургантаит на Непском месторождении калийных солей, расположенном к северу от г. Усть-Кут в Иркутской области, установлен в очень небольшом количестве среди нерастворимого остатка сильвинита из керна скважины 100, глубина 877.1 м. С ним, кроме галита и сильвина, ассоциируют борацит, ангидрит, магнезит и кварц. Минерал образует здесь плохо оформленные кристаллики в виде скошенных треугольных табличек размером до 0.5 мм.

Таблица 2

Результаты расчета рентгенограмм кургантаита  
X-ray powder pattern of kurgantaite

1		2		3		hkl	1		2		3		hkl
$I_{изм}$	$d_{изм}$	$I_{изм}$	$d_{изм}$	$I_{изм}$	$d_{изм}$		$I_{изм}$	$d_{изм}$	$I_{изм}$	$d_{изм}$	$I_{изм}$	$d_{изм}$	
		Ср	5.79	3	5.763	100			С-ср	1.986	22	1.982	322
8	5.69	Ср	5.64	71	5.636	010					17	1.981	032
				28	5.022	101	3	1.921	—	—	13	1.964	232
6	4.04	С-ср	5.01	23	5.00	011	4	1.885	Сл	1.881	15	1.888	$2\bar{2}\bar{1}$
				17	4.96	111	5	1.844	Сл-ср	1.863	9	1.854	$12\bar{1}$
6	4.07	С-ср	4.04	40	4.060	$1\bar{1}0$					9	1.843	231
				13	4.000	110					5	1.836	023
		Ср	3.19	17	3.184	112			С-ср	1.839	7	1.835	313
9	3.22	Ср	3.17	41	3.170	$1\bar{1}\bar{1}$	6	1.830	С-ср	1.829	9	1.834	203
				16	3.168	201			С-ср	1.827	5	1.832	103
				26	3.137	211					7	1.827	$3\bar{1}0$
7	3.13	Ср	3.12	27	3.120	$01\bar{1}$	1	1.783			4	1.778	130
				19	3.090	121	2	1.693			8	1.686	332
10	2.92	С	2.89	100	2.881	200	1	1.660			5	1.667	033
9	2.84	С	2.82	91	2.818	020	—	—			7	1.626	$1\bar{2}2$
				34	2.785	102	—	—			8	1.616	142
8	2.79	С	2.775	51	2.760	122					4	1.584	402
—	—	Сл	2.578	1	2.581	$2\bar{1}0$	4	1.587			5	1.583	$3\bar{1}\bar{1}$
5	2.54	Сл	2.535	10	2.547	$1\bar{2}0$					4	1.581	401
				13	2.517	120	—	—			7	1.575	$3\bar{2}1$
3	2.52	Ср	2.504	21	2.511	202	—	—			7	1.572	$2\bar{3}\bar{1}$
				20	2.504	002					5	1.560	$02\bar{2}$
				5	2.479	222	1	1.560			5	1.555	$22\bar{1}$
3	2.47	Сл	2.482	7	2.469	$11\bar{1}$					4	1.554	$1\bar{3}\bar{1}$
				17	2.450	221					9	1.549	$1\bar{1}\bar{3}$
		С-ср	2.142	20	2.135	$2\bar{1}\bar{1}$					4	1.548	$03\bar{1}$
7	2.14	С-ср	2.137	19	2.132	312	4	1.545			4	1.540	141
				12	2.127	$20\bar{1}$					6	1.540	423
5	2.11	Сл	2.113	24	2.102	$1\bar{2}1$					4	1.538	$1\bar{1}3$
		С-ср	2.092	7	2.099	132					7	1.537	214
7	2.07	С-ср	2.053	36	2.057	113	1	1.471			4	1.474	334
				10	2.047	223					5	1.457	421
				11	2.006	302	3	1.458			5	1.456	$2\bar{3}1$
				12	2.004	$1\bar{2}\bar{2}$					9	1.449	403
6	2.00	Ср	2.004	17	1.998	$10\bar{2}$							

Примечание. Ан. 1 — Челкар, Западный Казахстан, данные авторов; условия съемки: УРС-55, камера РКД-57.3, Сг-антикатоде; ан. 2 — Райерсхаузен, Германия (Braitsch, 1959), шкала интенсивностей дана оригинальная: с — сильная линия, ср — средняя, сл — слабая, с-ср и сл-ср — интенсивность промежуточная, между сильной и средней, средней и слабой соответственно; ан. 3 — теоретическая рентгенограмма, вычисленная из структурных данных (Ферро и др., 2000); интенсивности рассчитаны для Сг-излучения.

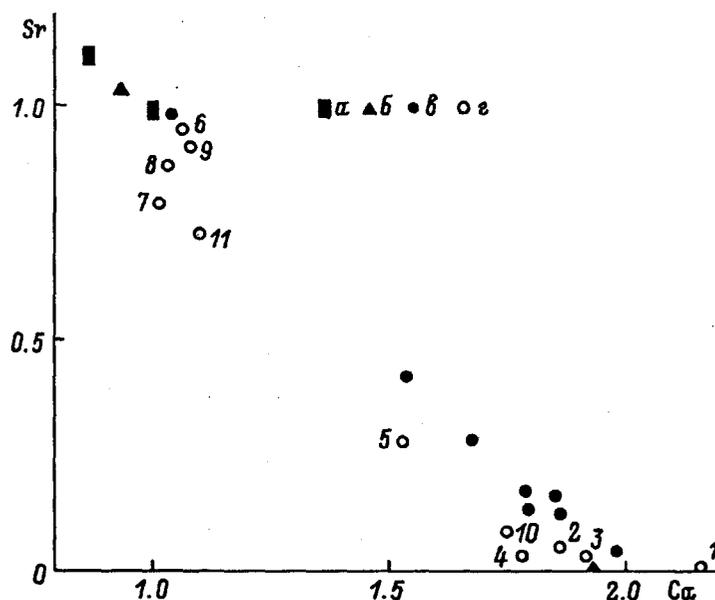


Рис. 2. Соотношения кальция и стронция в минералах семейства хильгардита. По осям отложены формульные единицы из расчета на 5 атомов бора.

*a—g* — данные авторов: Индер, Челкар, Непское; *z* — литературные данные: 1 — Чоктав, Луизиана, США (Ghose, Wap, 1979); 2 — Нью-Брансвик, Канада (Rachlin e. a., 1986); 3 — Индер (Мельницкий, 1976); 4—8 — Челкар (6 — Кондратьева, 1964; остальные — Малинко и др., 1991); 9 — Райерсхаузен, Германия (Braitsch, 1959); 10 — Тыреть, Иркутская обл. (Кондратьева, 1964); 11 — Коршуновское, Иркутская обл. (Малинко и др., 1981).

Fig. 2. Ca/Sr ratios in the hilgardite family minerals (formula coefficients calculated for 5 atoms of boron).

Кургантаит прозрачный, бесцветный, в тонкозернистых агрегатах белый, черта белая, блеск стеклянный. Твердость по Моосу 6—6.5. Хрупкий, наблюдается средняя спайность в двух направлениях, излом неровный. Оптически анизотропный, слабо двусосный, положительный. Показатели преломления:  $n_p = 1.637(1)$ ,  $n_m = 1.638(1)$ ,  $n_g = 1.675(1)$ .  $2V_{изм.} < 10^\circ$ ,  $2V_{выч.} = 19 \pm 19^\circ$ . Дисперсия оптических осей не наблюдается. Плотность, измеренная методом уравновешивания зерна в тяжелых жидкостях, 2.99(1), вычисленная — 3.07(1) г/см<sup>3</sup>.

Химический состав кургантаита, установленный с помощью электронно-зондового анализа (Ca, Sr, B, Cl), приведен в табл. 1. Примеси других компонентов в количествах, находящихся в пределах чувствительности этого метода, отсутствуют. Содержание воды напрямую определить не удалось по причине ничтожно малых количеств чистого минерала. Оно вычислено исходя из результатов расшифровки кристаллической структуры минерала, показывающих, что на элементарную ячейку приходится одна молекула воды. Индекс сходимости состава и свойств (измеренная плотность, средний показатель преломления), вычисленный по уравнению Гладстона—Дейла, при этом составляет 0.037 — «Excellent», что подтверждает корректность расчета содержания воды. Эмпирические формулы кургантаита, рассчитанные на 9 атомов кислорода, следующие: Индер:  $Ca_{1.01}Sr_{0.98}B_{5.02}O_9Cl_{1.04} \cdot H_2O$ , Непское:  $Ca_{1.04}Sr_{0.98}B_{4.99}O_9Cl_{1.01} \cdot H_2O$ .

На рис. 2, где показаны соотношения Ca и Sr в минералах семейства хильгардита, четко выделяется поле кургантаита. По составу его кристаллы однородны, какой-либо зональности не наблюдается. Обращает на себя внимание помимо уже отмечавшегося устойчивого соотношения Ca и Sr стабильное содержание Cl, близкое к 1 формульной единице. Таким образом, кургантаит по составу дополнительного аниона является аналогом высокохлористого минерала — хильгардита, а не гидроксильного — тыретскита.

Кристаллическая структура кургантаита решена (Ферро и др., 2000) на монокристалле размером  $0.32 \times 0.26 \times 0.24$  мм. Набор дифракционных данных получен на синхротронном излучении (длина волны  $0.6883 \text{ \AA}$ ) с помощью автоматического дифрактометра с позиционно-чувствительным детектором Brucker AXS SMART CCD. Величина  $R$ -фактора в анизотропном приближении составила 0.045. Кургантаит триклинный, пространственная группа  $P1$ , параметры элементарной ячейки:  $a = 6.573(1)$ ,  $b = 6.445(1)$ ,  $c = 6.369(1) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 60.995(2)$ ,  $\beta = 61.257(2)$ ,  $\gamma = 77.191(2)^\circ$ ,  $V = 206.9(1) \text{ \AA}^3$ . Минерал представлен 1A-политипом. Выбор единичных векторов триклинной ячейки сделан в соответствии с установкой О. Брайча (1959). Структура кургантаита, как и других членов семейства хильгардита, цеолитоподобная. Наиболее близка она к структуре хильгардита-1A, изученной И. М. Румановой с соавторами. Основу структуры составляет борокислородный каркас  $[B_5O_9]$ , в полостях которого размещаются атомы Ca, Sr, Cl и молекулы воды. Главной структурной единицей каркаса следует считать тетраэдрические цепочки  $[B_3O_9]$ , вытянутые вдоль  $[001]$ . Период этих цепочек составляют три тетраэдра, контакты между которыми укреплены двумя В,О-треугольниками. Атомы Cl и молекулы  $H_2O$  заполняют каналы, параллельные  $[001]$ . В структуре хильгардита-1A выделяются две неэквивалентные позиции, занятые атомами Ca: Ca(1) — в каналах, параллельных  $[100]$ , и Ca(2) — в каналах, вытянутых вдоль  $[010]$  (Руманова и др., 1977). В структуре кургантаита происходит полное упорядочение катионов Ca и Sr: позиция Ca(1) заполняется только атомами Ca, а весь Sr локализован в позиции, аналогичной Ca(2) в хильгардите-1A. Этим объясняется устойчивая стехиометрия Ca: Sr  $\approx 1$  в кургантаите при сохранении малой (без удвоения) элементарной ячейки, такой же, как у хильгардита-1A. Однако вхождение более крупного иона  $Sr^{2+}$  на место  $Ca^{2+}$  приводит к изменению конфигурации координационного полиэдра: Ca(2)-семивершинник в структуре хильгардита-1A, имеющий форму искаженной пентагональной дипирамиды с атомом Cl в одной из осевых вершин, превращается в гексагональную пирамиду в структуре кургантаита. Атом Cl оказывается удален на расстояние  $3.134(1) \text{ \AA}$  и уже не вовлекается в непосредственное окружение атома Sr. Таким образом, в отличие от всех других структурно изученных минералов семейства, где атомы Cl участвуют в обоих катионных полиэдрах, в кургантаите атом Cl входит только в Ca-полиэдр, не являясь лигандом Sr-полиэдра (Ферро и др., 2000). Идеализированная структурная формула кургантаита —  $CaSr[B_3B_2^IVO_9]Cl \cdot H_2O$ , упрощенная —  $CaSr[B_5O_9]Cl \cdot H_2O$ ,  $Z = 1$ .

Порошковые рентгеновские данные для кургантаита приведены в табл. 2. Близость теоретической порошкограммы, рассчитанной из структурных данных для образца из Непского месторождения, к рентгенограмме стронциохильгардита из Германии, опубликованной в 1959 г. О. Брайчем (табл. 2), подтверждает предположение об идентичности кургантаита и стронциохильгардита.

ИК-спектр кургантаита в целом сходен со спектрами других членов семейства, но в то же время обладает рядом индивидуальных особенностей, которые могут выступать и как диагностические. На рис. 3 приведены ИК-спектры кургантаита и самого близкого к нему минерала — хильгардита-1A. Наиболее наглядны различия в областях колебаний молекул воды. В области валентных колебаний  $H_2O$  наблюдается сдвиг полосы с  $3405 \text{ см}^{-1}$  у хильгардита-1A до  $3350 \text{ см}^{-1}$  у кургантаита, возможно, вызванный вовлечением в колебательный процесс тяжелых атомов Sr. В области деформационных колебаний  $H_2O$  у хильгардита наблюдается одна полоса при  $1601 \text{ см}^{-1}$ , тогда как у кургантаита присутствует дублет с максимумами поглощения при  $1645$  и  $1580 \text{ см}^{-1}$ , что, скорее всего, объясняется упорядоченным размещением катионов Ca и Sr в структуре кургантаита.

Судя по существованию промежуточных по величине Ca/Sr отношения разновидностей (табл. 1, рис. 2), а также исходя из структурных данных вполне вероятно существование непрерывного изоморфного ряда между хильгардитом  $CaCa[B_5O_9]Cl \cdot H_2O$  и кургантаитом  $CaSr[B_5O_9]Cl \cdot H_2O$  с замещением Ca на Sr в позиции Ca(2). В таком случае границу между этими минеральными видами формально сле-

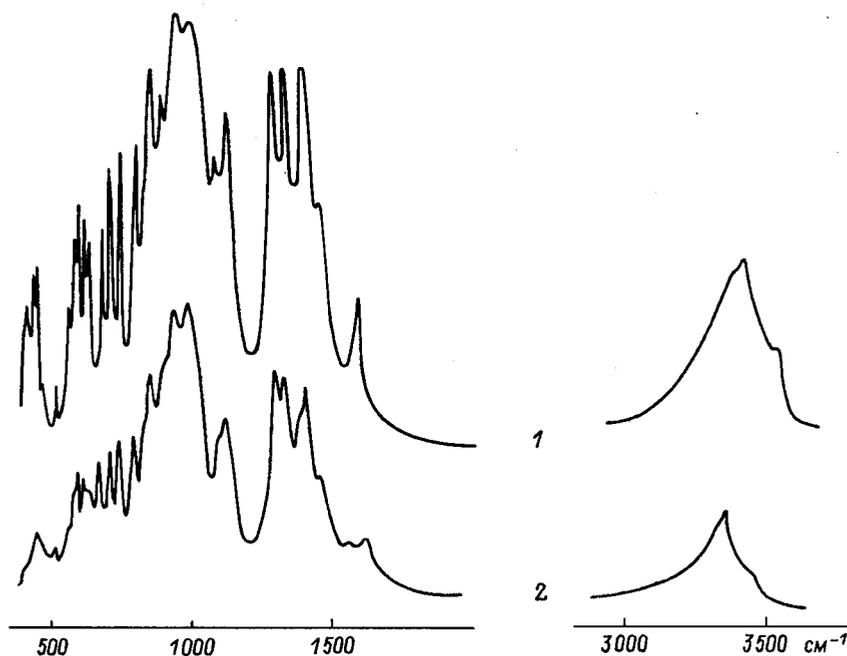


Рис. 3. ИК-спектры бесстронциевого хильгардита-1А из Челкара (1) и кургантаита из Непского месторождения (2).

Fig. 3. IR spectra of Sr-free hilgardite-1A from Chelkar (1) and kurgantaite from Nepskoe (2).

дует проводить по составу  $\text{Ca}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}[\text{B}_5\text{O}_9]\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ . С другой стороны, сгущение точек на рис. 2 близ идеального состава кургантаита ( $\text{Ca} : \text{Sr} = 1$ ) может говорить об устойчивости именно такого минерала по сравнению с промежуточными. Учитывая статистику химических составов, а также существование разных политипов среди природных членов семейства хильгардита, нельзя исключить и чередования микроблоков хильгардита и кургантаита в кристаллах промежуточного состава. Однозначно ответить на этот вопрос смогут только дополнительные структурные исследования.

Таким образом, стабильное соотношение катионов  $\text{Ca} : \text{Sr} \approx 1$ , триклинная симметрия и малая ячейка (1А-политип), индивидуальные порошкограмма и ИК-спектр позволяют четко диагностировать рассматриваемый минерал. Исходя из этого можно считать, что все ранее охарактеризованные в литературе высокостронциевые представители семейства хильгардита — кургантаит Я. Я. Яржемского (1952) из Индера, «стронциохильгардит» О. Брайча из Райерсхаузена (Braitsch, 1959), «стронциохильгардиты» В. В. Лобановой (Кондратьева, 1964) и Н. П. Авровой (Малинко и др., 1991) из Челкара, а также, видимо, и «стронциохильгардит» С. В. Малинко из Коршуновского месторождения (Малинко и др., 1981) относятся к одному минеральному виду — кальций-стронциевому катионно-упорядоченному триклинному хлорборату семейства хильгардита. Его первооткрывателем является Я. Я. Яржемский, и за этим минералом решением КНМНМ ММА от 4 июля 2000 г. закреплено оригинальное название — кургантаит; термин «стронциохильгардит» переведен в разряд синонимов и не рекомендуется к употреблению.

Кургантаит не является экстремально редким и по распространенности, видимо, ненамного уступает хильгардиту. Он может рассматриваться как характерный минерал эвапоритовых толщ, обогащенных бором и стронцием.

Неотипные образцы кургантаита находятся в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 99-05-39019.

### Список литературы

- Иванов А. А., Яржемский Я. Я. Боропроявление в соляной толще Лено-Ангарского бассейна // Тр. ВНИИ галургии. 1954. Вып. 29. С. 210—214.
- Кондратьева В. В. Рентгеновское исследование некоторых минералов группы хильгардита // Рентгенография минерального сырья. 1964. Вып. 4. С. 10—18.
- Кондратьева В. В. Рентгенометрический определитель боратов. Л.: Недра, 1969. 246 с.
- Лобанова В. В., Яржемский Я. Я. К минералогии Индерского поднятия // Вопросы минералогии и осадочных образований. Кн. 5. Львов, 1958. С. 177—190.
- Малинко С. В., Лисицын А. Е., Наумова И. С., Пурусова С. П. Стронциохильгардит из Коршуновского железорудного месторождения // ЗВМО. 1981. Вып. 5. С. 588—593.
- Малинко С. В., Халтурина И. И., Озол А. А., Бочаров В. М. Минералы бора. Справочник. М. Недра, 1991. 232 с.
- Мельницкий В. Н. Стронциоджинорит и гилгардит Прикаспия // ЗВМО. 1976. Вып. 1. С. 106—110.
- Руманова И. М., Йорыш З. И., Белов Н. В. Кристаллическая структура триклинного хильгардита // ДАН СССР. 1977. Т. 236. № 1. С. 91—94.
- Руманова И. М., Разманова З. П. О сверхгрупповой симметрии в триклинном минерале кургантаита  $\text{CaSrV}_5\text{O}_9\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{CaSr}[\text{V}_3\text{V}_2\text{O}_9]\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$  // Кристаллохимия и рентгенография минералов. Л., 1987. С. 106—112.
- Ферро О., Пуцаровский Д. Ю., Тишт С., Виноградова С. А., Ловская Е. В., Пеков И. В. Кристаллическая структура стронциевого хильгардита // Кристаллография. 2000. Т. 45. № 3. С. 452—457.
- Яржемский Я. Я. Кургантаит — новый боратовый минерал // Минер. сб. Львовского геол. общ. 1952. № 6. С. 169—174.
- Яржемский Я. Я. Бороносные галогенные породы. Новосибирск, 1984. 80 с.
- Braitsch O. 1 Tc-Strontiohilgardit  $(\text{Ca,Sr})_2[\text{V}_5\text{O}_8(\text{OH})_2\text{Cl}]$  und seine Stellung in der Hilgarditgruppe  $\text{X}^{II}_2[\text{V}_5\text{O}_8(\text{OH})_2\text{Cl}]$  // Beitr. Miner. Petr. 1959. Bd 6. P. 233—247.
- Clark A. M. Hey's Mineral Index (3 rd ed.). London, 1993. 852 p.
- Davies W. O., Machin M. P. Strontiohilgardite-1 Tc and tyretskite, a structural pair // Amer. Miner. 1968. Vol. 53. N 11/12. P. 2084—2087.
- Ghose S. A new nomenclature for the borate minerals in the hilgardite-tyretskite group // Amer. Miner. 1985. Vol. 70. N 5/6. P. 636—637.
- Ghose S., Wan C. Hilgardite — a piezoelectric zeolite type pentaborate // Amer. Miner. 1979. Vol. 64. N 1/2. P. 187—195.
- Nickel E. H. Standartization of polytype suffixes // Canad. Miner. 1993. Vol. 31. P. 767—768.
- Rachlin A. L., Mandarino J. A., Murowchick B. L., Ramik R. A., Dunn P. J., Back M. E. Mineralogy of hilgardite-4M from evaporites in New Brunswick // Canad. Miner. 1986. Vol. 24. P. 689—693.

Поступила в редакцию  
26 сентября 2000 г.