

УДК 549.73

С. В. МАЛИНКО, А. Е. ЛИСИЦЫН, К. А. ДОРОФЕЕВА,
И. В. ОСТРОВСКАЯ и Д. П. ШАШКИН

КУРЧАТОВИТ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ¹

Новый минерал бора — борат кальция, магния и марганца — установлен авторами в 1964 г. на одном из скарновых железорудных месторождений Сибири. В честь выдающегося советского физика академика Игоря Васильевича Курчатова новому минералу присвоено название курчатовит (kurchatovite).

Месторождение, на котором обнаружен курчатовит, приурочено к кембрийской вулканогенно-осадочной толще, представленной чередованием прослоев эффузивов с пластами и линзами кальцитовых и, реже, доломитовых мраморов. Вулканогенно-осадочные породы кембрия прорваны небольшими массивами гранитоидов палеозойского и мезозойского возраста. На контактах эффузивных пород с мраморами интенсивно развиты известковые (пироксен-гранатовые, везувиан-гранатовые) и в меньшей мере магнезиальные (форстеритовые и клиногумитовые) скарны. К скарнам приурочены магнетитовые залежи. В мраморах и в известковых скарнах широко распространен сфалерит. В ряде участков месторождения, сложенных везувиановыми скарнами, установлена мышьяковая минерализация, представленная редким минералом — мышьяковым аналогом апатита — свабитом $\text{Ca}_5(\text{AsO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ (Малинко и др., 1966).

Курчатовит обнаружен в образце, отобранном из зоны везувиан-гранатового скарна с интенсивной свабитовой минерализацией. Здесь курчатовит образует крупные, размером до 4 мм в длину, уплощенные таблитчатые кристаллы ромбического габитуса, содержащие многочисленные включения мелких зерен магнетита и в меньшей мере сфалерита и свабита. В результате более поздних низкотемпературных изменений курчатовит интенсивно замещается тонкозернистым агрегатом ссайбелиита, магнезиального хлорита и кальцита (рис. 1, а, б). Курчатовит имеет светло-серый цвет, прозрачен в мелких зернах, полупрозрачен и непрозрачен в более крупных. Кристаллы его характеризуются стеклян-ным блеском на гранях и совершенной спайностью в направлении, перпендикулярном удлинению зерен. Отсутствие индивидуализированных хорошо ограненных кристаллов не позволяет произвести гониометрические измерения.

Удельный вес курчатовита, измеренный М. А. Пановой методом микро-поплавка, составляет 3.02; твердость 4.5 по шкале Мооса. В длинных ультрафиолетовых лучах курчатовит люминесцирует ярким фиолетовым цветом, в катодных — темно-фиолетовым.

Кристаллооптические свойства курчатовита следующие: двуосный оптически отрицательный, $-2V=66^\circ$. Показатели преломления, измеренные Ю. А. Черкасовым методом центрального экранирования, составляют: $N_g=1.698 \pm 0.001$, $N_m=1.681 \pm 0.001$, $N_p=1.635 \pm 0.001$, $N_g-N_p=0.063$. В разрезах с высокой интерференционной окраской наблюдается

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам Всесоюзного минералогического общества 16 ноября 1965 г.

весьма совершенная спайность, ориентированная поперек удлинения зерен и совпадающая с сечением $NgNm$, что определяет прямое угасание и отрицательное удлинение зерен курчатовита. Кроме весьма совершенной спайности, в разрезах с высокой интерференционной окраской отме-

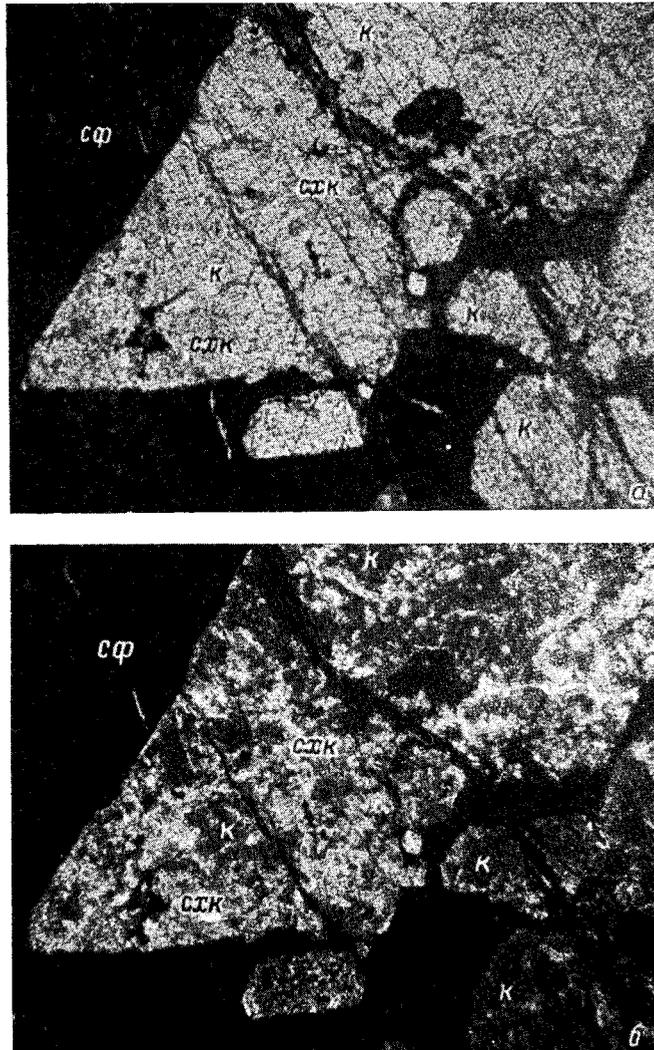


Рис. 1. Зерна курчатовита (k), частично замещенные тонкочешуйчатым агрегатом ссайбелита, хлорита и кальцита (cxk); $сф$ — сфалерит (увел. 72).

a — при одном николе, b — николи скрещены.

чены две системы весьма несовершенной спайности, пересекающиеся, как показали измерения на федоровском столике, под углами 134 и 46° . Нормали к плоскостям весьма несовершенных спайностей составляют с осью Ng угол 40° , с осью Nm 67° , с осью Np 73° . Линия пересечения двух систем весьма несовершенной спайности находится в плоскости совершенной спайности (в сечении $NgNm$) и имеет следующие сферические координаты: с осью Ng 60° , с осью Nm 30° и с осью Np 90° . Оптическая ориентировка: $Ng=c$; $Np=b$. Дисперсия оптических осей выражена слабо $r > v$. Изредка в зернах курчатовита наблюдаются отдельные

грани, следующие направлениям плоскостей весьма несовершенной спайности.

Определение параметров и симметрии элементарной ячейки курчатовита проводилось рентгеновскими методами исследования на монокристаллах.

Образцы курчатовита снимались в камере РКОП-А на $Fe_{K\alpha}$ -излучении без фильтра при напряжении 35 кв и силе тока 12 ма. Промер рентгенограмм качания проводился на компораторе ИЗА-2. Вдоль оси c были сняты нулевая и первая слоевые развертки в камере Кфор-4 на $Mo_{K\alpha}$ -излучении без фильтра. Расчет диагональных рентгенограмм качания и анализ нулевой и первой слоевых разверток показал, что курчатовит имеет ромбическую сингонию с параметрами примитивной элементарной ячейки: $a = 11.15 \pm 0.02 \text{ \AA}$, $b = 36.4 \pm 0.1 \text{ \AA}$, $c = 5.55 \pm 0.01 \text{ \AA}$.

Порошкограмма курчатовита по значениям межплоскостных расстояний и их интенсивностей не идентифицируется с порошкограммами

Таблица 1

Порошкограмма курчатовита

$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\beta}}{n}$	I	$\frac{d_{\gamma}}{n}$	I	$\frac{d_{\delta}}{n}$	I
7.04	1	2.32	1	1.633	6	1.142	1
6.25	1	2.26	7	1.577	4	1.116	1
4.05	1	(2.21)	1	1.543	4	1.110	2
3.91	1	(2.17)	1	1.514	5	1.107	4
3.52	2	(2.12)	2	1.483	1	1.094	3
(3.22)	1	2.08	2	1.442	1	1.075	1
(3.11)	3	2.01	7	1.410	3	1.068	2
3.04	3	1.976	5	1.395	2	1.051	2
(2.95)	4	1.922	9	1.379	2	1.044	2
2.89	4	1.878	1	1.363)	3	1.038	1
2.78	10	1.829	1	1.314	1	1.026	1
2.67	8	1.815	2	1.293	2	1.016	2
2.58	1	1.790)	3	1.248	2	1.009	2
2.53	4	1.766	2	1.232	8	0.985	1
2.46	2	1.707	5	1.198	3	0.984	4
2.41	2	1.685	1	1.154	1		
		(1.661)	2				

Примечание. Условия съемки: Fe -излучение (нефильтрованное); 35 кв, 10 ма, $D = 57$ мм; $d = 0.3$ мм.

известных минералов (табл. 1). Интенсивности отражений порошкограммы оценивались визуально по десятибалльной шкале.

В воде минерал нерастворим. В концентрированной и разбавленной соляной кислоте очень медленно растворяется, только с подогревом.

Учитывая тончайшее срастание курчатовита с другими минералами, выделение фракции для спектрального, химического и термического анализов производилось путем измельчения образца до размера 0.1 мм и последующего центрифугирования в тяжелых жидкостях.

Химическому анализу была подвергнута фракция с удельным весом $> 2.95 - < 3.10$, порошкограмма которой показала только линии курчатовита. Судя по исследованиям в иммерсионных препаратах, анализируемая фракция содержала отдельные зернышки кальцита, ссайбе-лита, магниезиального хлорита и свабита.

Химический анализ производился из 5-граммовой навески (табл. 2). Навеска минерала растворялась в HCl . Бор отгонялся метиловым спиртом, SiO_2 выделялся из солянокислой среды. В фильтрате трехкратно осаждались R_2O_3 и марганец аммиаком в присутствии персульфата аммо-

Таблица 2

Химический состав курчатовита

Компоненты	Весовые %	Молекулярные количества						Курчатовит			Количества атомов в элементарной ячейке			Теоретический состав
		общие	примеси			курчатовит	весовые %	% в пересчете на 100%	атомные количества	при $F = 40.97$	округленные значения			
			кальцит	свабит	хлорит								ссайбелит	
SiO ₂	0.49	0.008	—	0.008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	0.65	0.006	—	0.006	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TiO ₂	He обн.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	He обн.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ZnO	0.28	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaO	30.23	0.539	0.035	0.003	0.501	28.10	31.12	0.555	22.74	24	32.77	—	—	—
MnO	6.84	0.096	—	—	0.096	6.81	7.54	0.106	4.34	4	6.91	—	—	—
MgO	19.70	0.488	—	—	0.428	17.26	19.11	0.474	19.42	20	19.63	—	—	—
FeO	1.48	0.021	—	—	0.021	1.51	1.67	0.023	0.94	—	—	—	—	—
B ₂ O ₃	38.22	0.549	—	—	0.526	36.63	40.56	1.165	47.73	48	40.69	—	—	—
As ₂ O ₅	0.31	0.001	—	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CO ₂	1.60	0.035	0.035	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	He обн.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	0.66	0.037	—	0.014	—	—	0.023	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	100.46					90.31	100.0					100.00		

ния. В объединенных фильтратах после осаждения R_2O_3 определялись CaO и MgO, осадок растворялся в HCl, и R_2O_3 вновь осаждалась перидином для отделения от Mn. В осадке определялись Fe, Al и Ti, а в фильтрате Mn в виде пирофосфата. Бор определялся объемным методом из отдельной навески. Отделение от мешающего марганца производилось на катионите КУ-2 при pH=4.

Кроме компонентов, определенных химическим анализом, в исследуемой фракции спектральным путем установлены Cu, Bi и Ti в количестве 0.001—0.003%.

При расчете химического анализа на формулу (табл. 2) молекулярное количество примеси кальцита вычислялось по содержанию CO_2 , свабита — по As_2O_5 , хлорита по SiO_2 и Al_2O_3 , ссайбелиита — по остатку H_2O . Количества примесей, вычтенных при расчете химического анализа, приблизительно соответствуют их количествам, установленным при просмотре пробы в иммерсионных препаратах под микроскопом. Далее были вычислены весовые проценты окислов, входящих в состав курчатовита, и произведен пересчет на 100%. Количества атомов в элементарной ячейке находились путем умножения атомных количеств элементов на фактор F , равный $0.006023 \cdot v \cdot d$, где v — объем элементарной ячейки в Å^3 , d — из-

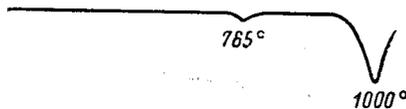


Рис. 2. Кривая нагревания фракции с удельным весом 2.95—3.10.

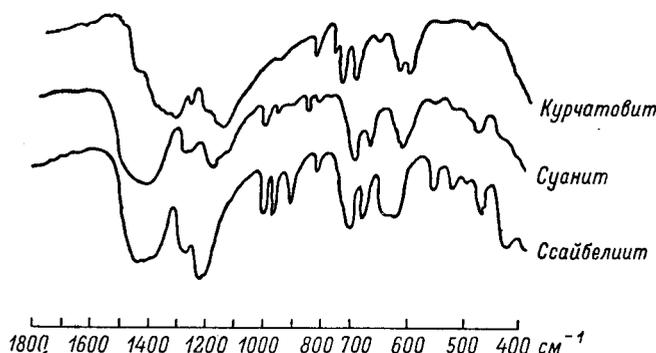


Рис. 3. Спектр поглощения курчатовита в инфракрасном свете.

меренный удельный вес. При округлении полученных значений до целых чисел принималось, что Fe^{2+} изоморфно замещает Mg, а Ca в незначительных количествах замещается Mg и Mn.

Таким образом, в элементарной ячейке содержится: 24 CaO, 20 MgO, 4 MnO, 24 B_2O_3 . При $Z=4$ эмпирическая формула минерала имеет вид: $6 CaO \cdot 5 MgO \cdot MnO \cdot 6 B_2O_3$.

Теоретический состав для этой формулы приведен в последней колонке табл. 2. Вычисленный удельный вес равен 3.027, что хорошо согласуется с измеренным.

Кривая нагревания фракции, подвергнутой химическому анализу (термограмма снята Л. И. Рыбаковой), показала резкий эндотермический эффект при 1000° , связанный с плавлением курчатовита (рис. 2). Очень слабая эндотермическая реакция при 765° связана, по-видимому, с примесью в исследуемом материале кальцита, температурный максимум диссоциации которого резко снижается при низком содержании кальцита в смеси (Иванова, 1961).

Для определения характера борного радикала и обоснования структурной формулы минерала на спектрофотометре UR-10 был снят спектр поглощения курчатовита в инфракрасном свете (рис. 3). Наиболее силь-

ное поглощение наблюдается в области 1000—1500 см⁻¹, где имеются две широкие полосы поглощения: 1) 1500—1260 с максимумами 1470 (пл.), 1390, 1350, 1325 и 1275 см⁻¹; 2) 1260—1000 см⁻¹ с максимумами 1220 (пл.), 1175 и 1150 см⁻¹. В более низкочастотной области — более узкие и менее интенсивные полосы 975, 875, 850, 790, 755, 710, 668, 632, 614, 555 (оч. сл.), 508, 465 (пл.), 425 (пл.) и ~400 см⁻¹ (рис. 3). По положению полос поглощения и их относительной интенсивности спектр курчатовита очень сходен со спектром суанита. Некоторый сдвиг полосы 1120 см⁻¹ в низкочастотную область в спектре курчатовита по сравнению со спектром суанита вызван тем, что наряду с Mg исследуемый минерал содержит в своем составе более тяжелые атомы Са. Близость инфракрасных спектров этих минералов в области 400—1600 см⁻¹, в которой проявляются валентные и деформационные колебания в борокислородных группировках, свидетельствует о том, что структуры обоих минералов характеризуются одним и тем же типом борного радикала. В структуре суанита рентгеновскими методами установлено наличие групп (B₂O₅)⁴⁻, состоящих из двух треугольников BO₃, соединенных друг с другом через общий атом кислорода (Takéuchi, 1952). Эти данные позволяют считать, что бор в курчатовите находится в составе радикала (B₂O₅)⁴⁻ и структурная формула имеет следующий вид: Са₆Mg₅Mn(B₂O₅)₆. Инфракрасный спектр поглощения курчатовита имеет определенное сходство со спектром ссайбелиита (рис. 3), в структуре которого также предполагается наличие групп B₂O₅ (Пен Чжи-чжун и др., 1963). Большие размеры элементарной ячейки курчатовита и соотношения между катионами, приближающиеся к целочисленным, свидетельствуют о том, что, по-видимому, Са, Mg и Mn в структуре располагаются упорядоченно.

Частичное замещение Mg²⁺ и Fe²⁺, наблюдаемое в курчатовите, является характерным для скарновых магнезиальных боратов. Наиболее ярко это замещение проявлено в серии людвигит—вонсенит (Бровкин и др., 1963). Между Mg и Mn также известны изоморфные соотношения вплоть до образования непрерывных рядов, например, в серии ссейбелиит—суссексит (Schaller, 1942) и котоит—джимбоит (Watanabe и др., 1963). Подобных взаимоотношений между Са и Mg среди скарновых боратов не наблюдалось. При промежуточном кальций-магниевоом составе оба эти элемента обычно находятся в стехиометрических соотношениях. К таким скарновым боратам относятся ровейт (Mn, Mg, Zn)Са · (BO₂)₂(OH)₂ (Berman, Gonyer, 1937), годифруаит Са₄Mn_{3-x} · (BO)₃(CO₃) (O, OH)₃ (Jougravsky, Permingeat, 1964), боркарит Са₄MgH₆(BO₃)₄(CO₃)₂ (Перцев и др., 1965), сахаит Са₁₂ · Mg₄(BO₃)₇(CO₃)₄Cl(OH)₂ · H₂O (Островская и др., 1966).

Курчатовит является вторым безводным пироборатом, обнаруженным в природе. До него в этой группе минералов был известен только суанит Mg₂B₂O₅ (Watanabe, 1953).

В изученном образце взаимоотношения курчатовита с другими минералами свидетельствуют о его довольно раннем образовании. По-видимому, кристаллизация курчатовита по времени близка выделению свабита и магнетита и связана с привнесением бора постмагматическими растворами в начальные стадии постскарнового процесса. Сфалерит, выполняющий промежуточные между зернами курчатовита, а также ссайбелиит, хлорит и кальцит, замещающие новый борат, образовались явно позднее.

Образцы курчатовита переданы на хранение в Минералогический музей АН СССР.

Литература

- Бровкин А. А., С. М. Александров, И. Я. Некрасов. (1963). Рентгенометрическое изучение минералов людвигит—вонсенитовой серии. Рентгеногр. минер. сырья, сб. 3.
Иванова В. П. (1961). Термограммы минералов. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 90, вып. 1.

Малинко С. В., Г. С. Румянцев, Г. А. Сидоренко. (1966). Свабит из контактово-метасоматических месторождений Сибири и Урала. ДАН СССР, т. 166, № 5.

Островская И. В., Н. Н. Перцев, И. Б. Никитина. (1966). Сахаит — новый карбонатоборат кальция и магния. Зап. Всесоюзн. минер. общ., ч. 95, вып. 2.

Перцев Н. Н., И. В. Островская, И. Б. Никитина. (1965). Новый минерал боркарит. Зап. Всесоюзн. минер. общ., ч. 94, вып. 2.

Berman H., F. A. Gonner. (1937). Roweite a new mineral from Franklin, New Jersey. Amer. Miner. v. 22, № 4.

Jouravsky G., F. Permingeat. (1964). La gaudefroyite, une nouvelle espere minerale. Bull. Soc. franc. Miner. Cvist, v. 87, № 2.

Пен Ч жи - ч ж у н, У Ч е н - х о й, Ч ж а н П и - с и н. (1963). Кристаллическая структура ашарита. Scientica sinica, v. 12, № 11.

Schaller W. T. (1942). The identity of ascharite, camsellite and β -ascharite with szaibelyite, and some relations of the magnesium borate minerals. Amer. Miner., v. 27, № 7.

Takéuchi Y. (1952). The cristal structur of magnesium piroborate. Acta Cryst., v. 5.

Watanabe T. (1953). Suanite, a new magnesium borate mineral from Hol-Kol. Suan, North Korea. Miner. Journ. Japan, v. 1.

Watanabe T., A. Kato, I. Matsumoto, J. Ito. (1963). Jimboite $Mn_3(BO_3)_2$, a new mineral from the Kaso Mine Tochigi Prefecture, Japan. Proc. Japan. Acad., v. 39, № 3.

Всесоюзный институт
минерального сырья (ВИМС), Институт
геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии АН СССР (ИГЕМ),
Москва.