

- Пятенко Ю. А., Воронков А. А., Пудовкина З. В. Минералогическая кристаллохимия титана. М.: Наука, 1976. 155 с.
- Расцветова Р. К., Хомяков А. П. Кристаллическая структура редкоземельного аналога илерита // Кристаллография. 1992. Т. 37. Вып. 6. С. 1561–1563.
- Соколова Е. В., Аракчеева А. В., Волошин А. В. Кристаллическая структура комковита // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320. № 6. С. 1384.
- Хомяков А. П. О роли химического и кристаллохимического факторов в распределении редких земель // Геохимия. 1967. № 2. С. 197–205.
- Хомяков А. П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 200 с.
- Хомяков А. П., Шуляцкая Н. Г., Полежаева Л. И. Шомикит-(Y) $\text{Na}_3\text{Y}(\text{CO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ — новый минерал // ЗВМО. 1992а. № 6. С. 129–132.
- Хомяков А. П., Полежаева Л. И., Ямнова Н. А., Пушаровский Д. Ю. Минеевит-(Y) $\text{Na}_{25}\text{Ba}(\text{Y}, \text{Gd}, \text{Dy})_2(\text{CO}_3)_{11}(\text{HCO}_3)_4(\text{SO}_4)_2\text{F}_2\text{Cl}$ — новый минерал // ЗВМО. 1992б. Вып. 6. С. 138–143.
- Хомяков А. П., Нечелюстов Г. Н., Расцветова Р. К. Сазыкинаит-(Y) $\text{Na}_5\text{Y}\text{ZrSi}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — новый минерал // ЗВМО. 1993. Вып. 5. С. 76–82.
- Boggs Russell C. Calciophilairite $\text{CaZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, the calcium analogue of hilairite from the Golden Horn Batholith, northern Cascades, Washington // Amer. Miner. 1988. Vol. 73. N 9–10. С. 1191–1194.
- Chao G. Y., Watkinson D. H., Chen T. T. Hilairite, $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, a new mineral from Mont St. Hilaire, Quebec, Canada // Canad. Miner. 1974. Vol. 12. Part 4. С. 237–240.
- Khomyakov A. P. The mineralogy of REE in hyperagpaitic pegmatites // Rare Earth Minerals: Chemistry Origin and Ore Deposits. 1 and 2 April. 1993. Abstracts. The Natural History Museum, London. P. 56.
- Khomyakov A. P. Mineralogy of hyperagpaitic alkaline rocks. Oxford: Clarendon Press, 1995. 224 p.

Поступила в редакцию
6 марта 1996 г.

УДК 549.6

ЗВМО, № 4, 1996 г.
Proc. RMS, N 4, 1996

© Д. чл. А. П. ХОМЯКОВ,* А. РОБЕРТС,** д. чл. Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ,***
Н. А. ЯМНОВА,**** Д. Ю. ПУШАРОВСКИЙ*****

ИНТЕРСИЛИТ $\text{Na}_6\text{MnTi}[\text{Si}_{10}\text{O}_{24}(\text{OH})](\text{OH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ С НОВЫМ ТИПОМ ЛЕНТОЧНО-СЛОИСТОГО КРЕМНЕКИСЛОРОДНОГО РАДИКАЛА¹

A. P. KHOMYAKOV, A. ROBERTS, G. N. NECHELYUSTOV, N. A. YAMNOVA,
D. Yu. PUSHCHAROVSKY. INTERSILITE $\text{Na}_6\text{MnTi}[\text{Si}_{10}\text{O}_{24}(\text{OH})](\text{OH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ —
THE NEW MINERAL WITH A NEW TYPE OF THE BAND-LAYERED
SILICON-OXYGEN RADICAL

The mineral occurs in the hyperagpaitic pegmatites of the Lovozero alkaline massif (Kola peninsula), where it forms irregular grains 1–2 mm in size. Its colour is bright yellow, rarely pinkish-yellow or pink; translucent, transparent in fine fragments; lustre vitreous to greasy. All the necessary data on chemical composition, optic features and physical properties of the mineral are presented in the paper. Its structural formula is $(\text{Na}, \text{K})\text{Na}_5\text{MnTi}[\text{Si}_{10}\text{O}_{24}(\text{OH})](\text{OH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Intersilite is considered as a silicate of the intermediate type: with crystal structure combining features of the layer and band structural arrays.

* Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ), 121357, Москва, ул. Верещаева, 15.

** Геологическая служба Канады, Оттава.

*** Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС), 109017, Москва, Старомонетный пер., 31.

**** Московский университет, 119899, Москва, Воробьевы горы.

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества 18 июля 1995 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 22 декабря 1995 г. В более ранней публикации (Khomyakov, 1995) интерсилит условно обозначен как М66.

Новый минерал обнаружен А. П. Хомяковым в северо-западной части Ловозерского щелочного массива (Кольский полуостров) при изучении пегматитов и гидротермалитов горы Аллуайв. Несмотря на то что авторы располагали лишь миллиграммовыми количествами вещества, хорошее качество имевшегося материала позволило провести практически полный комплекс его исследования, и в частности, выполнить рентгеноструктурный анализ. В результате установлены несомненная индивидуальность минерала и его принадлежность к силикатам переходного типа, в структуре которых сочетаются элементы как слоистого, так и ленточного мотивов. Новый минерал назван интерсилитом (intersilite, от латинского *inter* – между и по принадлежности к химическому классу силикатов), что подчеркивает его значение как связующего звена между разнотипными по строению силикатами.

В районе горы Аллуайв Ловозерского массива широко развиты ультраагпаитовые пегматиты и гидротермалиты – существенно новый тип пегматоидных образований, резко пересыщенных щелочными, летучими и редкими элементами (Хомяков, 1990; Khomyakov, 1995). Характерным породообразующим минералом этих образований в данном районе является уссингит – алюмосиликат с максимальным коэффициентом агпаитности ($\text{Na}/\text{Al} = 2$). Интерсилит встречается в одном из уссингитовых прожилков, содержащих в подчиненных количествах макатит, виллиомит, эгирин, ломоносовит, серандит, стенструпин, манганнептунит и захаровитоподобный минерал. Основная часть перечисленных минералов приурочена к относительно тонкой (1–3 мм) осевой зоне прожилка, тогда как уссингит слагает его более широкие (до 5–10 мм) приальбандовые оторочки и обнаруживает явные признаки развития по нефелину и другим умеренно щелочным алюмосиликатам расщепляемого прожилком луюврита.

Интерсилит встречается в виде зерен неправильной формы размерами 1–2 мм в поперечнике и агрегатов зерен (до 3 мм), образующих редкие вкрапления в уссингите на его контакте с осевой зоной прожилка. Минерал ярко-желтый, местами розовато-желтый или розовый. Просвечивает, в тонких сколах прозрачный. Блеск тусклый, стеклянный до жирного. Излом ступенчатый. Характерна совершенная спайность по (100), придающая естественным сколам минерала пластинчатый облик. Хрупкий. Твердость 3–4 по шкале Мооса. Плотность, измеренная (объемометрический метод М. М. Василевского) и вычисленная для эмпирической формулы, равна 2.42 г/см³.

Минерал легко разлагается при комнатной температуре 10 %-ными HCl и HNO₃. Плавится при прокаливании зерен до 960 °С, однако точная температура плавления не зафиксирована. Согласно результатам термического анализа, выполненного из микронавески интерсилита на установке Perkin-Elmer, основная часть потери массы приходится на интервал 100–500 °С. Она составляет 10.4 % и обусловлена потерей минералом воды и гидроксил-ионов.

Кристаллооптическое исследование интерсилита выполнено с использованием универсального столика Федорова и иммерсионного метода. Минерал двусосный, отрицательный, $n_p = 1.536$ (2), $n_m = 1.545$ (2), $n_g = 1.553$ (2), $2V = 87$ (1)°. Сильная дисперсия: $r < v$. Ориентировка: $b = Ng$, $c \wedge Np = 40^\circ$ в остром углу β ; плоскость оптических осей примерно совпадает с сеткой решетки (101). Плеохроирует по схеме $Ng > Nm > Np$: Ng – медово-желтый, Nm – желтоватый, Np – бесцветный.

ИК-спектр минерала (рис. 1, аналитик Н. В. Чуканов) содержит широкий набор полос поглощения: 406, 445, 505пл, 600пл, 613, 661, 695пл, 735пл, 765, 838, 990, 1030пл, 1080, 1110пл, 1148, 1605пл, 1658, 3290, 3390пл, 3470пл, 3600 см⁻¹. Судя по положению полос в высокочастотной области, интерсилит содержит несколько типов протонных группировок, включая (OH)⁻, H₂O и, возможно, (H₃O)⁺. По поло-

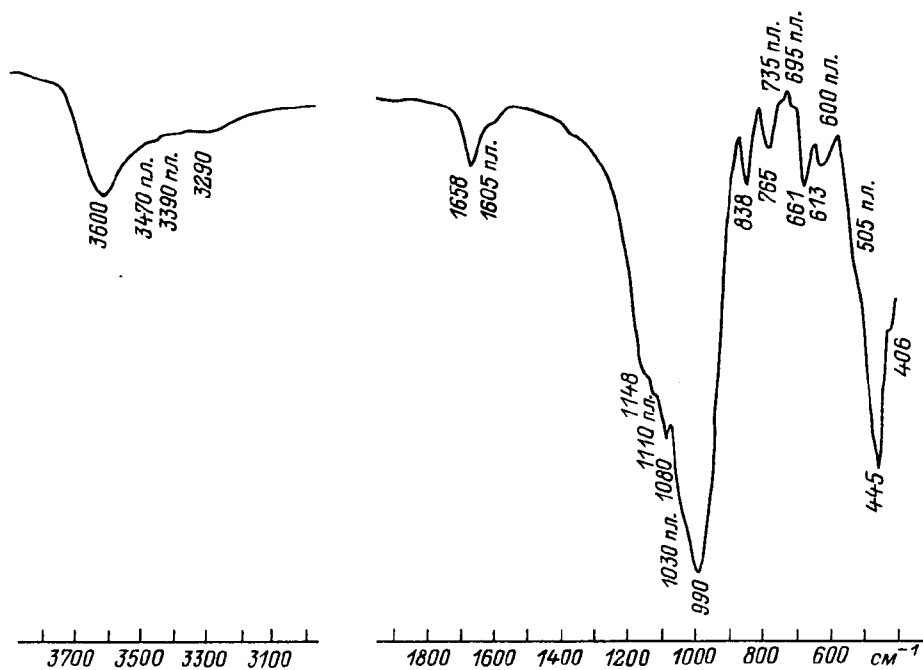


Рис. 1. Инфракрасный спектр интерсилита.

Fig. 1. IR spectrum of intersilite.

жению основной полосы поглощения с максимумом 990 см^{-1} минерал соответствует слоистым или ленточно-слоистым силикатам.

Рентгенографическое исследование интерсилита выполнено А. Робертсом (Геологическая служба Канады). Прецессионным монокристалльным методом установлено, что в основе строения данного минерала лежит моноклиническая *I*- или *F*-ячейка с параметрами (соответственно) $a = 12.939$ и 19.150 , $b = 18.675$ и 18.675 , $c = 12.184$ и 16.280 Å , $\beta = 99.28$ и 93.49° , возможные пространственные группы $I2/m$, $I2$, Im или $F2/m$, $F2$, Fm . Рентгенограмма порошка (табл. 1) индивидуальна и хорошо индицируется в каждой из двух указанных ячеек, однако в приводимом расчете сохранены только индексы для *I*-ячейки, подтвержденной рентгеноструктурным анализом (см. ниже).

Химический состав интерсилита изучен Г. Н. Нечелюстовым на рентгеновском микроанализаторе Superprobe-733. Анализировался состав семи зерен при параметрах 20 кВ , 20 нА с использованием следующих стандартов: чкаловит (Na , Si), микроклин (K), родохрозит (Mn), альмандин (Fe), диопсид (Ca), анатаз (Ti) и $\text{LiNbO}_3(\text{Nb})$. В связи с нестабильностью минерала под зондом съемка производилась расфокусированным пучком ($\sim 5\text{ мкм}$) при непрерывном перемещении образца. Усредненный состав проанализированных зерен (табл. 2) дополнен содержанием воды 10.40% , определенным по величине потери массы при прокаливании.

Пересчет результатов табл. 2 выполнен с учетом данных рентгеноструктурного анализа, согласно которым на каждую формульную единицу приходится по 10 атомов Si . Этому условию соответствует эмпирическая формула $(\text{Na}_{5.84}\text{K}_{0.42})_{6.26} \cdot (\text{Mn}_{0.94}\text{Fe}_{0.04}\text{Ca}_{0.02})_{1.00}(\text{Ti}_{0.75}\text{Nb}_{0.24})_{0.99}\text{Si}_{10}\text{O}_{24.5}(\text{OH})_{3.5} \cdot 4.5\text{H}_2\text{O}$. Идеализированная формула $\text{Na}_6\text{Mn}(\text{Ti}, \text{Nb})\text{Si}_{10}(\text{O}, \text{OH})_{28} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Na}_6\text{MnTiSi}_{10}\text{O}_{24}(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Содержания Na , Ti и Nb заметно варьируют от зерна к зерну при наличии прямой корреляции между Na и Nb и обратной – между Ti и Nb . В сравнении с идеальным

Таблица 1
 Результаты расчета рентгенограммы порошка интерсипита
 X-ray powder diffraction data for intercalite

I	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{выч}}$	hkl	I	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{выч}}$	hkl	I	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{выч}}$	hkl
100	10.56	10.54	110	20	3.140	3.142	-152	10	2.018	2.031	404
10	9.56	9.56	-101	5	3.055	3.052	251			2.022	055
15	6.69	6.68	-121	30	3.018	3.020	152			2.017	462
50	6.38	6.38	200			3.015	-323			2.008	-255
20	6.03	6.01	002			3.006	004			2.007	-206
30	5.77	5.76	-211	5	2.932	2.932	411	1	1.952	1.951	354
45	5.55	5.55	-112	15	2.870	2.872	332	3	1.924	1.922	116
20	5.28	5.27	220	20	2.794	2.794	114	3	1.864	1.867	0.10.0
5	5.08	5.10	211	25	2.652	2.654	-352	1	1.844	1.845	-554
		5.06	022	50	2.608	2.608	-262			1.842	046
40	4.78	4.78	-202	20	2.565	2.565	204	3	1.816	1.824	-572
25	4.68	4.67	040	3	2.535	2.541	-442			1.820	-284
5	4.36	4.34	-231	10	2.471	2.471	262			1.813	-721
40	4.253	4.254	-222	5	2.418	2.425	-172	10	1.784	1.784	-156
3	4.160	4.195	-141			2.418	253	10	1.751	1.751	484
		4.150	310			2.414	361			1.750	-662
30	4.032	4.034	231	3	2.338	2.389	-404	3	1.736	1.739	-2.10.0
		4.014	-103			2.385	015	5	1.718	1.720	-356
30	3.960	3.959	132	3	2.332	2.331	-503			1.716	156
5	3.766	3.769	240	10	2.265	2.271	314	10	1.684	1.685	066
25	3.684	3.687	-123			2.262	-523			1.683	1.11.0
25	3.581	3.585	150	3	2.228	2.229	460	3	1.664	1.663	1.10.3
5	3.408	3.407	123	10	2.171	2.178	-372	5	1.643	1.643	-752
		3.226	-332			2.171	-462	10	1.611	1.618	604
80	3.196	3.193	400	3	2.103	2.108	550			1.616	-176
		3.189	312	5	2.078	2.078	-552			1.610	-673
		3.179	-251								

Примечание. Условия съемки: камера Дебая-Шеррера, 114,6 мм. Со-излучение, Fe-фильтр, без стандарта, интенсивности оценивались визуально, проинтегрировано на основе I-ленты с параметрами: $a = 12.939$, $b = 18.675$, $c = 12.184$ Å, $\beta = 99.28^\circ$. Аналитик А. Робертс.

Таблица 2
Химический состав интерсилита (мас. %)
Chemical composition (wt. %) of intersilite

Компонент	Содержание	Si = 10
Na ₂ O	16.91 (16.4–17.4)	5.84
K ₂ O	1.85 (1.8–1.9)	0.42
MnO	6.23 (5.9–6.4)	0.94
FeO	0.30 (0.3–0.3)	0.04
CaO	0.10 (0.1–0.1)	0.02
TiO ₂	5.59 (5.2–6.0)	0.75
Nb ₂ O ₅	3.02 (2.5–3.4)	0.24
SiO ₂	56.10 (55.5–56.7)	10
H ₂ O	10.40	12.36
Сумма	100.50	

Примечание. Микрозонд. Аналитик Г. Н. Нечелостов.
Среднее из состава 7 зерен, в скобках — пределы вариаций.
Содержание воды оценено по термогравиметрическим данным.

реальный состав характеризуется существенной (~25 %) замещенностью титана ниобием, а также вхождением в минерал избыточного количества щелочных катионов (~0.25 атома на формульную единицу) по вероятной схеме $\text{TiO}_2 = \text{NaNb}(\text{OH})_6$, что можно объяснить пересыщенностью материнского расплава-раствора щелочными, летучими и редкими элементами, характерными для остаточных дифференциатов ультращелочных магм. Реализация изоморфизма по указанной схеме в столь широких пределах указывает на возможность дальнейшего расширения этих пределов вплоть до образования в ультраагпаитовых породах существенно ниобиевого аналога интерсилита.

Рентгеноструктурное исследование интерсилита выполнено Н. А. Ямновой с соавторами (Ямнова и др., 1996а, б). С помощью монокристалльного автодифрактометра P1 Synthes уточнены параметры элементарной ячейки минерала: $a = 13.033$ (6), $b = 18.717$ (9), $c = 12.264$ (6) Å, $\beta = 99.62$ (4) Å, $V = 2950$ (2) Å³, $Z = 4$, пространственная группа $I2/m$. Кристаллическая структура изучена по 1881 независимым отражениям до $R_{\text{анiso}} = 6.6$ %. Результатам структурной расшифровки отвечает кристаллохимическая формула $(\text{Na}_{0.80}\text{K}_{0.45})\text{Na}_5\text{Mn}^{2+}(\text{Ti}_{0.75}\text{Nb}_{0.25}) \cdot [\text{Si}_{10}\text{O}_{24}(\text{OH})](\text{O}, \text{OH})(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или ее упрощенный вариант $(\text{Na}, \text{K})\text{Na}_5\text{MnTi} \cdot [\text{Si}_{10}\text{O}_{24}(\text{OH})](\text{OH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, где квадратными скобками выделен кремнекислородный радикал — тетраэдрические ленты, сконденсированные в параллельные (100) непрерывные слои. Последние содержат кольца трех типов: 5-, 6- и 8-членные и связаны между собой в единый каркас октаэдрическими Na, Mn, Ti(Nb)-лентами, вытянутыми, как и Si, O-ленты, вдоль оси c (рис. 2). За счет полярной ориентации апикальных вершин Si-тетраэдров в слое в структуре формируются трехэтажные пакеты-бруссы, каждый из которых образован октаэдрической лентой-сердечником, обрамленной с обеих сторон Si-кольчугой. Торцы указанных пакетов в проекции на плоскость (001) расположены в шахматном порядке, что напоминает аналогичную проекцию структур амфиболов. В каналах структуры, вытянутых вдоль пакетов-бруссов, локализуются крупные (Na, K)-катионы и молекулы воды. Способ сочленения тетраэдрических и октаэдрических элементов в структуре минерала позволяет отнести интерсилит к разряду ленточно-слоистых силикатов, известными примерами которых являются сепиолит $\text{Na}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и палыгорскит $\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

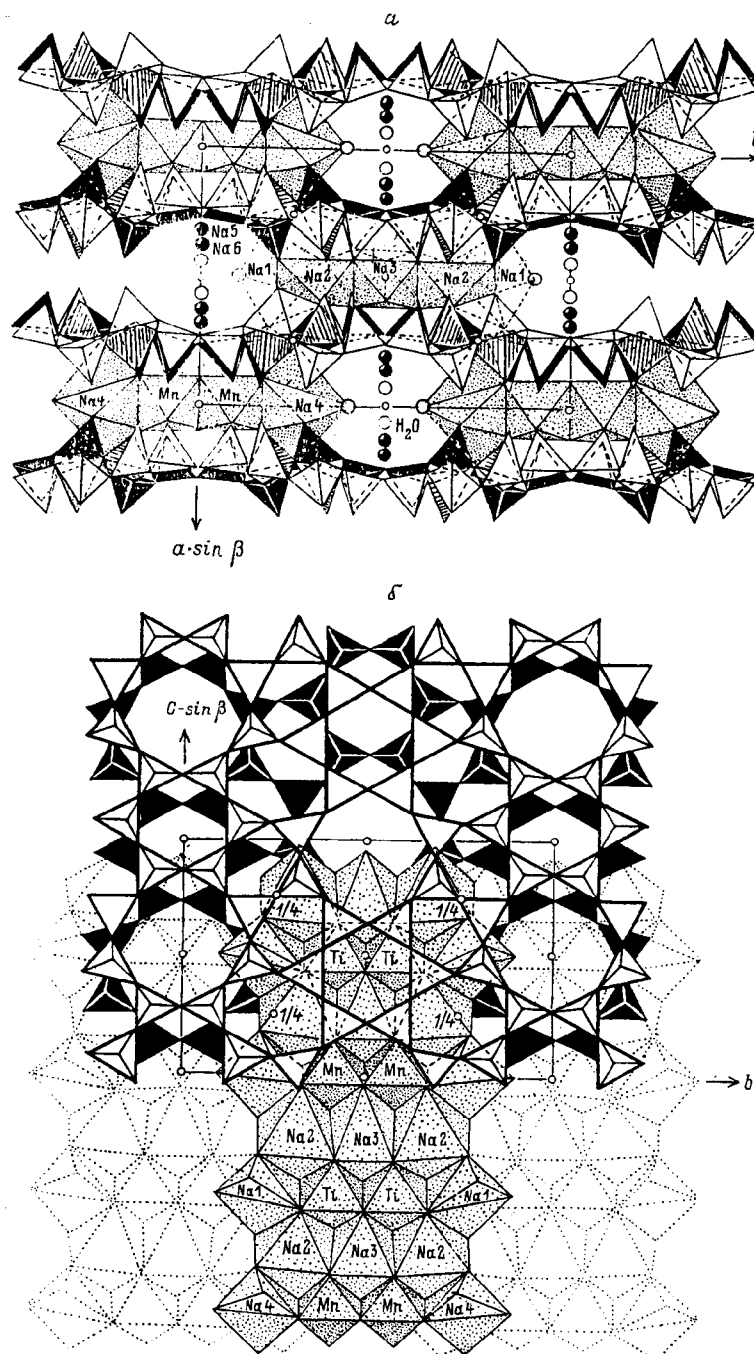


Рис. 2. Кристаллическая структура интерсилита в проекциях на (001) (а) и (100) (б).
Тетраэдрами (залитыми, прозрачными и заштрихованными) обозначены основные фрагменты ленточно-
слоистого кремнекислородного радикала.

Fig. 2. Crystal structure of intersilite projected on (001) (a) and (100) (b).

Интерсилит — гидротермальный минерал, кристаллизующийся на конечных стадиях формирования ультраагпаитовых пегматитов и гидротермалитов из остаточных силикатно-солевых жидкостей, аномально обогащенных щелочными, летучими и редкими элементами.

Эталонный образец интерсилита передан в Минералогический музей имени А. Е. Ферсмана, Москва. Регистрационный номер 1601/1.

В заключение авторы выражают благодарность Н. В. Чуканову, И. И. Плюсниной и Ю. К. Егорову-Тисменко за помощь в получении некоторых важных характеристик изученного минерала и участие в обсуждении полученных результатов. Исследования, изложенные в настоящей работе, выполнены при частичной финансовой поддержке по гранту МВЕ300 Международного научного фонда и правительства Российской Федерации.

Список литературы

- Хомяков А. П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 200 с.
- Ямнов Н. А., Егоров-Тисменко Ю. К., Хомяков А. П., Пушаровский Д. Ю. Кристаллическая структура нового природного Na, Mn, Ti-филлосиликата // Кристаллография. 1996а. Т. 41. № 2. С. 257–262.
- Ямнов Н. А., Егоров-Тисменко Ю. К., Хомяков А. П. Новый представитель ряда ленточно-слоистых силикатов с инвертированными тетраэдрическими постройками // Кристаллография. 1996б. Т. 41. № 4.
- Khomaykov A. P. Mineralogy of hyperagpaitic alkaline rocks. Oxford: Clarendon Press, 1995. 224 p.

Поступила в редакцию
6 марта 1996 г.