

© Н. В. ЧУКАНОВ,\* А. Н. КОНИЛОВ,\*\* А. Е. ЗАДОВ,\*\*\* д. чл. Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ,\*\*\*\*  
д. чл. И. В. ПЕКОВ\*\*\*\*\*

**НОВЫЙ АМФИБОЛ КАЛИЕВЫЙ ХЛОРОПАРГАСИТ  
(K,Na)Ca<sub>2</sub>(Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>4</sub>Al(Si<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>22</sub>)(Cl,OH)<sub>2</sub> И УСЛОВИЯ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ  
В ГРАНУЛИТОВОМ КОМПЛЕКСЕ САЛЬНЫХ ТУНДР  
(КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)<sup>1</sup>**

N. V. CHUKANOV, A. N. KONILOV, A. E. ZADOV, D. I. BELAKOVSKY, I. V. PEKOV  
THE NEW AMPHIBOLE POTASSIC CHLOROPARGASITE (K,Na)Ca<sub>2</sub>(Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>4</sub>Al(Si<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>22</sub>)(Cl,OH)<sub>2</sub>  
AND CONDITIONS OF ITS FORMATION IN THE GRANULITE COMPLEX  
OF SAL'NYE TUNDRA MASSIF (KOLA PENINSULA)

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

\*\* Институт экспериментальной минералогии РАН, 142432, Московская обл., п. Черноголовка

\*\*\* НПО «Регенератор», 127018, Москва, ул. Складочная, 1

\*\*\*\* Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, 117901, Москва, Ленинский пр., 18, корп. 2

\*\*\*\*\* Московский университет, 119899, Москва, Ворольевы горы

Potassic-chloropargasite, a new mineral of the amphibole group, has been found at Elgoras Mt. in the granulite complex of the massif Salnye Tundry, Kola Peninsula, Russia. The mineral occurs as black grains up to 0.5 mm and is associated with chlorapatite, almandine, diopside, enstatite, Cl-rich biotite, potassic pargasite, marialite, plagioclase. Mohs' hardness is 5.5. Biaxial, negative,  $\alpha = 1.675(1)$ ,  $\beta = 1.687(1)$ ,  $\gamma = 1.690(3)$ .  $2V_{\text{calc}} = 53^\circ$ ,  $2V_{\text{meas}} = 65(15)^\circ$ . Pleochroism:  $\alpha$ (light-grey) <  $\beta$ (grey) <  $\gamma$ (dark-green). Monoclinic,  $C2/m$ ,  $a = 9.843(3)$ ,  $b = 18.130(5)$ ,  $c = 5.362(3)$  Å,  $\beta = 105.5(5)^\circ$ ,  $V = 922.1(6)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ .  $D_{\text{calc}} = 3.35(3)$  g/cm<sup>3</sup>,  $D_{\text{meas}} = 3.29(5)$ . The strongest lines of the powder diffraction pattern [ $d$ , Å ( $hkl$ ): 8.42(8) (110), 3.116(3) (310), 2.951(3) (-151, 221), 2.714(10) (151), 2.562(7) (241), 1.444(3) (-533). (FeK $\alpha$ , Debye-Scherrer). IR spectrum is given. Chemical composition (electron probe): Na<sub>2</sub>O 1.22, K<sub>2</sub>O 3.03, CaO 11.41, MgO 9.08, FeO 16.63, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.05, TiO<sub>2</sub> 0.26, SiO<sub>2</sub> 38.71, Cl 4.33, —O=Cl<sub>2</sub> -0.98, total 98.74. The empirical formula of potassic-chloropargasite is: (K<sub>0.60</sub>Na<sub>0.37</sub>)Ca<sub>1.89</sub>(Mg<sub>2.09</sub>Fe<sub>1.68</sub><sup>2+</sup>Fe<sub>0.47</sub><sup>3+</sup>Al<sub>0.73</sub>Ti<sub>0.03</sub>)(Si<sub>5.99</sub>Al<sub>2.01</sub>O<sub>22</sub>)Cl<sub>1.14</sub>(OH)<sub>0.86</sub>. A specimen of potassic-chloropargasite is deposited in Fersman mineralogical museum of Russian Academy of Sciences, Moscow (reg. No 2694/1.2).

Амфиболы с высоким (> 0.3 мас.%) содержанием хлора относительно редки. Почти все имеющиеся их описания относятся к минералам ряда гастингсита, причем, как правило, к железистой его части; обычно их состав отвечает общей формуле (Na,K)Ca<sub>2</sub>(Fe<sup>2+</sup>,Mg)<sub>4</sub>Fe<sup>3+</sup>[Si<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>22</sub>](OH,Cl,F)<sub>2</sub> (Пеков и др., 1998).

Характерно, что богатые хлором амфиболы часто обогащены и калием, вплоть до преобладания К над Na (Онтоев, 1958; Вахрушев, 1967; Думкин, Могилева, 1967; Крутов и др., 1970; Jacobson, 1975; Dick, Robinson, 1979; Gulyaeva e. a., 1986; Kagenogii e. a., 1987; Пеков и др., 1998). Наиболее высокие содержания хлора (при низком содержании фтора) характерны для амфиболов из известково-скарновых магнетитовых месторождений, тогда как в амфиболах из интрузивных пород и продуктов регионального метаморфизма количество Cl крайне редко превышает 0.8—0.9 мас.% (Пеков и др., 1998). В связи с этим представляется весьма интересной находка амфибола, содержащего более 4 мас.% Cl, в гранулитовом комплексе. По химическому составу он не имеет аналогов и, в соответствии с принятой в настоящее время номенклатурой группы амфиболов (Leake e. a., 1997), описывается нами как новый минеральный вид.

В образце основного гранулита, взятом из толщи кианитовых метapelитов на горе Эльгорас (68°05' с. ш., 31°35' в. д.) в районе Сальных тундр, Кольский полуостров, в пределах одного шлифа проявлена диффузная зона, косо секущая гнейсовидность вмещающей породы. В состав вмещающего гранулита входят следующие минералы (химические составы приведены согласно усредненным данным электронно-зондовых анализов):

<sup>1</sup> Рассмотрено КНМНМ ВМО 23 апреля 2001 г. Утверждено КНМНМ ММА 30 августа 2001 г.

гиперстен  $(\text{Mg}_{1.22}\text{Fe}_{0.71}\text{Al}_{0.06}\text{Ca}_{0.01})[\text{Si}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_6]$ ,  
 диопсид  $(\text{Ca}_{0.81}\text{Na}_{0.05})(\text{Mg}_{0.72}\text{Fe}_{0.24}\text{Al}_{0.13})[\text{Si}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_6]$ ,  
 алмадин  $(\text{Fe}_{1.55}\text{Mg}_{0.78}\text{Ca}_{0.56}\text{Mn}_{0.03})\text{Al}_{2.02}[\text{SiO}_4]_{3.03}$ ,  
 плагиоклаз  $\text{Na}_{0.66}\text{Ca}_{0.35}\text{K}_{0.02}[\text{Si}_{2.59}\text{Al}_{1.42}\text{O}_8]$ ,  
 амфиболы  $\text{K}_{0.45-0.58}\text{Na}_{0.28}\text{Ca}_{1.75-1.79}(\text{Mg}_{2.05-2.31}\text{Fe}_{1.86-2.03}\text{Ti}_{0.16-0.19}\text{Al}_{0.83-0.88})$   
 $[\text{Si}_{6.07-6.23}\text{Al}_{1.77-1.93}\text{O}_{22}]\text{Cl}_{0.15-0.84}(\text{OH},\text{F},\text{O})_{1.16-1.85}$   
 кварц.

В диффузной зоне развиты минералы с высоким содержанием хлора: до 4.1 мас.% в биотите, до 4.4 мас.% в амфиболах, до 6.4 мас.% в апатите; в скаполите помимо хлора содержится примесь серы.

Эмпирические формулы минералов из диффузной зоны:

алмадин  $(\text{Fe}_{1.38}\text{Mg}_{1.10}\text{Ca}_{0.42}\text{Mn}_{0.4})\text{Al}_{2.02}[\text{SiO}_4]_{3.02}$ ,  
 биотит  $\text{K}_{0.85}(\text{Mg}_{1.78}\text{Fe}_{1.02}\text{Al}_{0.23}\text{Ti}_{0.01})[\text{Si}_{2.75}\text{Al}_{1.25}\text{O}_{10}]\text{Cl}_{0.50}(\text{OH},\text{F},\text{O})_{1.50}$ ,  
 скаполит  $\text{Ca}_{1.56}\text{Na}_{1.50}\text{K}_{0.22}\text{Fe}_{0.03}^{3+}[\text{Si}_{7.61}\text{Al}_{4.39}\text{O}_{24}]\text{Cl}_{0.47}(\text{CO}_3)_{0.37}(\text{SO}_4)_{0.16}$ ,  
 хлорапатит  $\text{Ca}_{5.05}\text{Fe}_{0.02}[\text{PO}_4]_{2.97}\text{Cl}_{0.95}(\text{OH})_{0.05}$ .

Количество хлора в биотите и амфиболах постепенно уменьшается в направлении от центра минерализованной зоны до 1.7 и 0.7 мас.% соответственно.

Именно в этой ассоциации и установлен новый представитель группы амфиболов. Зерна с наиболее высокими содержаниями Cl обнаружены в пределах диффузной зоны, где новый минерал образует изометричные трещиноватые зерна размером 0.1—0.3 мм (редко до 0.5 мм) черного цвета (рис. 1).

В отличие от дашкесанита (Пеков и др., 1998) высокохлористый амфибол из Сальных тундр содержит относительно мало  $\text{Fe}^{3+}(\text{VIAl}) > \text{Fe}^{3+}$  (табл. 1) и  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\text{Mg} > \text{Fe}^{2+}$ ) и, согласно принятой номенклатуре (Leake e. a., 1997), получил название

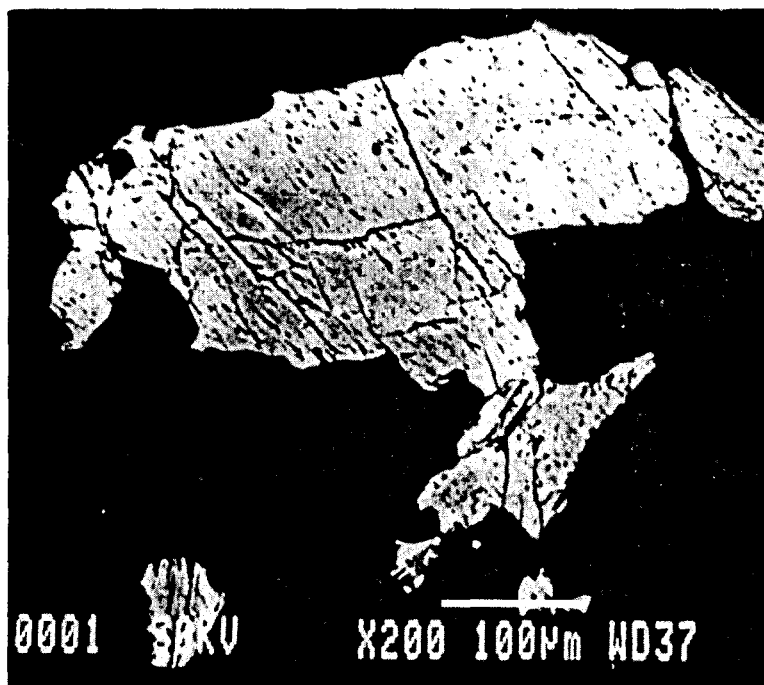


Рис. 1. Крупное зерно калиевого хлоропаргасита.

Fig. 1. A big grain of potassic-chloropargasite.

Таблица 1

Химический состав калиевого хлоропаргасита  
Chemical composition of potassic-chloropargasite

Компонент	Мас. %	Предел содержаний
Na <sub>2</sub> O	1.22	0.94—1.71
K <sub>2</sub> O	3.03	2.95—3.07
CaO	11.41	11.26—11.73
MgO	9.08	7.89—10.11
FeO	16.63	14.02—18.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.05	13.38—16.54
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.16—0.42
SiO <sub>2</sub>	38.71	37.63—39.74
Cl	4.33	3.92—4.80
-O=Cl <sub>2</sub>	-0.98	
Сумма	98.74	
H <sub>2</sub> O	0.84*	
Сумма	99.58	

Примечание. \* — вычислено из эмпирической формулы при условии OH + Cl = 2. MnO, ZnO, NiO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 0.05 %; F < 0.2 %.

**калиевый хлоропаргасит.** Эмпирическая формула минерала, вычисленная по средним цифрам из пяти электронно-зондовых анализов (табл. 1), такова: K<sub>0.60</sub>Na<sub>0.37</sub>Ca<sub>1.89</sub>(Mg<sub>2.09</sub>Fe<sub>1.68</sub><sup>2+</sup>Fe<sub>0.37</sub><sup>3+</sup>Al<sub>0.73</sub>Ti<sub>0.03</sub>)[Si<sub>5.99</sub>Al<sub>2.01</sub>O<sub>22</sub>]Cl<sub>1.14</sub>(OH)<sub>0.86</sub>, рассчитано на (Mg + Fe + Al + Ti + Si) = 13; (Cl + OH) = 2, с учетом баланса зарядов.

Упрощенная формула минерала (Z = 2): (K,Na)Ca<sub>2</sub>(Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>4</sub>Al[Si<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>22</sub>](Cl,OH)<sub>2</sub>.

По дебаеграмме (табл. 2) калиевый хлоропаргасит близок к дашкесаниту, гастингситу и к паргаситу. Минерал моноклинный, пространственная группа C2/m; параметры элементарной ячейки, рассчитанные из рентгенограммы: a = 9.843(3),

Таблица 2

Рентгенограмма порошка калиевого хлоропаргасита  
X-ray powder diffraction data for potassic-chloropargasite

<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм</sub>	<i>d</i> <sub>выч</sub>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм</sub>	<i>d</i> <sub>выч</sub>	<i>hkl</i>
10	9.48	9.51	110	5	2.412	2.414	620
8	5.94	5.94	020	2	2.354	2.353	$\bar{3}$ 32
1	5.31	5.28	300	4	2.235	2.241	332
6	4.82	4.83	310	5	2.221	2.224	710
1	4.46	4.43	021	2	2.181	2.170	512
9	3.96	3.96	400	4	2.052	2.050	$\bar{5}$ 32
1	3.85	3.84	130	2	1.981	1.981	800, 060
4	3.32	3.33	002	1	1.768	1.767	$\bar{8}$ 02
		3.30	420	1	1.740	1.742	910
6	3.068	3.063	510	2	1.702	1.702	062
7	2.982	2.982	202	2	1.662	1.664	004
4	2.904	2.903	022	2	1.647	1.648	840
4	2.838	2.840	$\bar{3}$ 12	1	1.612	1.610	$\bar{3}$ 14
8	2.783	2.782	240	1	1.584	1.585	660
7	2.638	2.642	600	1	1.542	1.541	462
1	2.541	2.541	$\bar{1}$ 32	2	1.493	1.493	$\bar{9}$ 32
1	2.491	2.491	132	3	1.391	1.391	480

Примечание. Рентгенограмма получена в дебаевской камере диаметром 57 мм на FeK<sub>α</sub>-излучении.

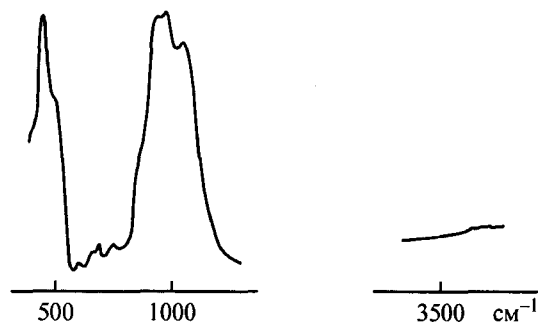


Рис. 2. ИК-спектр калиевого хлоропаргасита.

Fig. 2. IR spectrum of potassic-chloropargasite.

$b = 18.130(5)$ ,  $c = 5.362(3)$  Å;  $\beta = 105.5(5)$ ;  $V = 922.1(6)$  Å<sup>3</sup>. Вычисленная плотность составляет 3.35(3), а измеренная методом уравнивания зерна в тяжелых жидкостях — 3.29(5) г/см<sup>3</sup>.

Калиевый хлоропаргасит оптически двусосный, отрицательный;  $n_p = 1.675(1)$ ,  $n_m = 1.687(1)$ ,  $n_g = 1.690(3)$ ;  $2V_{\text{выч}} = 53^\circ$ ,  $V_{\text{изм}} = 65(15)^\circ$ . Плеохроизм:  $Np$ (светло-серый) <  $Nm$ (серый) <  $Ng$ (темно-серо-зеленый). Твердость по Моосу 5.5, спайность совершенная по (110).

Волновые числа полос в ИК-спектре (см<sup>-1</sup>, см. рис. 2): 3690сл, 3665сл, 1054, 983, 943, 750, 694, 670, 612сл, 520пл, 500пл и 461 (сл — слабая полоса, пл — плечо).

К сожалению, из-за низкого качества индивидов, состоящих из разориентированных (вследствие трещиноватости) блоков, не удалось выполнить рентгеноструктурное исследование монокристаллов калиевого хлоропаргасита.

Сходимость свойств и состава нового минерала по критерию Гладстона—Дейла хороша:  $1 - Kp/Kc = 0.031$ .

Изучение парагенезисов минералов в породе, вмещающей калиевый хлоропаргасит, позволяет оценить условия ее формирования.

Так, термобарометрия данного образца дает следующие результаты.

1. Для основного гранулита по гранато-ортопироксено-плагиоклазо-кварцевому барометру и гранато-ортопироксеновому термометру с использованием химических составов ядер минералов —  $T = 905$  °C,  $P = 11.7$  кбар.

2. Для контактирующих минералов получено 695 °C и 8.6 кбар по гранато-ортопироксено-плагиоклазо-кварцевому барометру и гранато-ортопироксеновому термометру; 715 °C и 9.8 кбар по гранато-клинопироксено-плагиоклазо-кварцевому барометру и гранато-клинопироксеновому термометру и 686 °C (для  $P = 9$  кбар) по дупироксеновому термометру.

3. Для контактирующих граната и биотита с повышенным содержанием хлора получено 706 °C (при  $P = 9$  кбар).

4. Для включения биотита в гранате из минерализованной зоны получено 851 °C ( $P = 9$  кбар) по гранато-биотитовому геотермометру.

Очевидно, что формирование минерализованной зоны является следствием гидротермальной активности, происходившей позднее формирования гранато-(орто)пироксенового парагенезиса при общем охлаждении пород (поскольку масштабы ее проявления были крайне незначительными). Затем данная зона была перекристаллизована при повышении температуры до ~ 850 °C, но следы этого события во вмещающей породе не обнаруживаются. При температуре ~ 700 °C имела место еще одна стадия перекристаллизации пород.

Образцы калиевого хлоропаргасита и вмещающего новый минерал основного гранулита переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве, рег. № 2694/1,2.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 01-05-64739.

## Список литературы

- Вахрушев В. А. Минералогия, геохимия и генетические группы контактово-метасоматических месторождений Алтае-Саянской области. М., 1967. 355 с.
- Дымкин А. М., Могилёва М. П. Особенности дашкесанитовой минерализации в магнетитовом месторождении Табрат (Вост. Саян) // Геология и генезис магнетитовых месторождений Сибири. М.: Наука, 1967. С. 191—193.
- Крутов Г. А., Виноградова Р. А., Киселева И. А. Хлорсодержащие минералы и некоторые вопросы генезиса метасоматических месторождений магнетита Мульга-Бурлукской и Краснокаменной групп в Восточном Саяне // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 1970. № 6. С. 31—37.
- Онтоев Д. О. Хлорсодержащие минералы — скаполит и дашкесанит Ховуаксинского месторождения (Тува) // ЗВМО. 1958. Вып. 1. С. 48—54.
- Пеков И. В., Нефёдова М. Е., Чуканов Н. В., Пуцаровский Д. Ю. Дашкесанит  $(K,Na)Ca_2(Fe^{2+},Mg)_4Fe^{3+}[Si_6Al_2O_{22}](Cl,OH)_2$ : подтверждение статуса минерального вида и новые данные // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 1998. № 2. С. 30—37.
- Dick L. A., Robinson G. W. Chlorine-bearing potassian hastingsite from a sphalerite scarn in southern Yukon // Canad. Miner. 1979. Vol. 17. N 1. P. 25—26.
- Gulyaeva T., Gorelikova N., Karabtson A. High potassium-chlorinebearing hastingsites in skarn from Primorye // Miner. Mag. 1986. Vol. 50. Pt 4. N 358. P. 724—728.
- Jacobson S. S. Dashkesanite: high-chlorine amphibole from St. Paul's rock, Equatorial Atlantic, and Transcaucasia, USSR // Smithsonian. Contrib. Earth Sci. 1975. N 14. P. 17—20.
- Karenori S., Masaki E., Tatsuro H. Chlorine-rich potassium hastingsite from West Ongul Island, East Antarctica // Miner. Mag. 1987. Vol. 51. Pt 5. N 356.
- Leake B. E. e. a. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names // Canad. Miner. 1997. Vol. 35. P. 219—246.

Поступила в редакцию  
2 октября 2001 г.

УДК 549.753(470.54)

ЗВМО, № 2, 2002 г.  
Proc. RMS, N 2, 2002

© Д. чл. И. В. ПЕКОВ,\* д. чл. Д. А. КЛЕЙМЕНОВ,\*\* Н. В. ЧУКАНОВ,\*\*\* О. В. ЯКУБОВИЧ,\*  
В. МАССА,\*\*\*\* д. чл. Д. И. БЕЛАКОВСКИЙ,\*\*\*\*\* Л. А. ПАУТОВ\*\*\*\*\*

### БУШМАКИНИТ $Pb_2Al(PO_4)(VO_4)(OH)$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ БРАКЕБУШИТА ИЗ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СРЕДНИЙ УРАЛ<sup>1</sup>

I. V. PEKOV, D. A. KLEIMENOV, N. V. CHUKANOV, O. V. YAKUBOVICH, W. MASSA,  
D. I. BELAKOVSKIY, L. A. PAUTOV. BUSHMAKINITE  $Pb_2Al(PO_4)(VO_4)(OH)$ ,  
A NEW MINERAL OF THE BRACKEBUSCHITE GROUP FROM OXIDIZED ZONE  
OF BEREZOVSKOYE GOLD DEPOSIT, THE MIDDLE URALS

\* Московский университет, Геологический факультет, 119899, Москва, Воробьевы горы  
\*\* Уральский геологический музей, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
\*\*\* Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., п. Черноголовка  
\*\*\*\* Fachbereich Chemie der Philipps-Universität, Hans-Meerwein-Strasse, D-35043, Marburg, Germany  
\*\*\*\*\* Минералогический музей РАН, 117901, Москва, Ленинский пр. 18, корп. 2

Bushmakinite, a new mineral of the brackebuschite group, has been discovered in a specimen from Berezovskoye gold deposit, Middle Urals, Russia. It occurs in assemblage formed by oxidation of nest consisting of galena and fahl ore in quartz vein; associates with cerussite, bindheimite, vauquelinite, mottramite, pyromorphite. It forms lamellar crystals up to  $0.3 \times 0.2 \times 0.02$  mm. Translucent, bright-yellow, streak yellowish, lustre vitreous. Brittle, cleavage perfect on (001). Mohs' hardness 3—3.5.  $D_{calc} = 6.21$  g/cm<sup>3</sup>. Optically biaxial, negative;  $\alpha = 1.99$ ,  $\beta = 2.03$ ;  $\gamma = 2.06$ ;  $2V_{calc} = 80^\circ$ ; dispersion of optical axes is significant,  $r < v$ . Chemical composition (microprobe data, wt %) is: PbO 65.95, CuO 2.46, ZnO 0.08, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.75, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.05, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 11.67, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9.84, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.06.

<sup>1</sup> Рассмотрено КНМН ВМО 23 апреля 2001 г. Утверждено КНМН ММА 2 августа 2001 г.