

© Д. чл. И. В. ПЕКОВ,\* д. чл. И. В. ЧУКАНОВ,\*\* А. Е. ЗАДОВ,\*\*\* Э. К. РОБЕРТС,\*\*\*\*  
М. К. ДЖЕНСЕН,\*\*\*\*\* И. В. ЗУБКОВА,\* Э. Дж. НИКИШЕР\*\*\*\*\*

## ЭВРИКАДАМПИТ $(\text{Cu,Zn})_{16}(\text{TeO}_3)_2(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}(\text{OH})_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — НОВЫЙ ГИПЕРГЕННЫЙ МИНЕРАЛ<sup>1</sup>

\* Московский государственный университет, 119992, Москва, Воробьевы горы;  
e-mail: igorpekov@mail.ru

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

\*\*\* НПП «Теплохим», 127288, Москва, Дмитровское шоссе, 71

\*\*\*\* Geological Survey of Canada, 60L Booth Street, Ottawa, Ontario, K1A 0E8 Canada

\*\*\*\*\* Reno, Nevada, 89509 USA

\*\*\*\*\* Hudson Institute of Mineralogy, Peekskill, New York, 10566 USA

Новый минерал эврикадампит, идеализированная формула  $(\text{Cu,Zn})_{16}(\text{TeO}_3)_2(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}(\text{OH})_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , установлен в зоне окисления месторождения Сентенниэл Эврика, район Тинтик, округ Хуаб, Юта, США.

*Ключевые слова:* эврикадампит, новый минерал, теллуриит, арсенат, зона окисления рудных месторождений, Сентенниэл Эврика, Тинтик, Юта.

I. V. PEKOV, N. V. CHUKANOV, A. E. ZADOV, A. C. ROBERTS, M. C. JENSEN, N. V. ZUBKOVA,

A. J. NIKISCHER. EUREKADUMPITE  $(\text{Cu,Zn})_{16}(\text{TeO}_3)_2(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}(\text{OH})_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  —  
A NEW HYPERGENE MINERAL

A new mineral eurekaumpite was found at the Centennial Eureka mine, Tintic district, Juab Co., Utah, USA. It occurs in the oxidation zone with quartz, malachite, malachite, Zn-bearing olivenite, goethite, Mn oxides. Eurekaumpite forms spherulites or rosettes up to 1 mm in size, their clusters and crusts up to 1.5 cm<sup>2</sup> in cavities. Its individuals are divergent, extremely thin (up to 0.5 mm across and lesser than 1 μm thick) hexagonal or roundish leaflets. The mineral is deep blue-green or turquoise-colored. Streak is light turquoise-colored. Luster is satiny in aggregates and pearly on individual flakes. Cleavage is (010) perfect, mica-like. Flakes are flexible, but not elastic. Mohs' hardness 2.5–3.  $D(\text{meas}) = 3.76(2)$ ,  $D(\text{calc}) = 3.826 \text{ g/cm}^3$ . The mineral is optically biaxial negative,  $n_p = 1.69(1)$ ,  $n_m = n_g = 1.775(5)$ ,  $2V_{\text{meas}} = 10(5)^\circ$ . Pleochroism is strong:  $Y = Z = \text{deep blue-green}$ ,  $X = \text{light turquoise-colored}$ . Orientation:  $X = b$ . Wave-numbers of bands in the IR spectrum (cm<sup>-1</sup>; strong bands are underlined, w — weak bands) are: 3400, 2990, 1980w, 1628, 1373w, 1077, 1010, 860, 825, 803, 721w, 668, 622, 528, 461. The IR spectrum shows presence of the tellurite,  $(\text{Te}^{4+}, \text{O}_3)^{2-}$ , and arsenate,  $(\text{As}^{5+}, \text{O}_4)^{3-}$ , anionic groups and H<sub>2</sub>O molecules; Cu and Zn cations are combined with OH<sup>-</sup> groups. Chemical composition of eurekaumpite (wt %; averaged of 14 electron-microprobe analyses, H<sub>2</sub>O — by Alimarin method) is: FeO 0.04, CuO 36.07, ZnO 20.92, TeO<sub>2</sub> 14.02, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 14.97, Cl 1.45, H<sub>2</sub>O 13.1, —O=Cl<sub>2</sub> —0.33, total 100.24. The empirical formula (based on 2 Te atoms) is:  $(\text{Cu}_{10.37}\text{Zn}_{5.85}\text{Fe}_{0.01})_{\Sigma 16.18}(\text{TeO}_3)_2(\text{AsO}_4)_{2.97}[\text{Cl}_{0.93}(\text{OH})_{0.07}]_{\Sigma 1}(\text{OH})_{18.45} \cdot 7.29\text{H}_2\text{O}$ . The idealized formula is:  $(\text{Cu,Zn})_{16}(\text{TeO}_3)_2(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}(\text{OH})_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Eurekaumpite is monoclinic (pseudo-hexagonal), the most probable space groups are  $P2_1/m$ ,  $P2$  or  $Pm$ . The unit cell parameters refined from powder X-ray data are:  $a = 8.28(3)$ ,  $b = 18.97(2)$ ,  $c = 7.38(2)$  Å,  $\beta = 121.3(6)^\circ$ ,  $V = 990(6)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 1$ . The strongest reflections of the X-ray powder diagram ( $d$ , Å —  $[hkl]$ ) are: 18.92 — 100[010]; 9.45 — 19[020]; 4.111 — 13[201]; 3.777 — 24[050, 221, 041]; 2.692 — 15[311, 151, 302], 2.524 — 41[170, 252, 171], 1.558 — 22[482, 3.10.1, 024]. Name of the mineral reflects, first, the fact that it was found in specimens from *dumps* of the Centennial Eureka mine; in addition, it could mean *found in dump* (Greek word *eureka* means *al have found it*): there is an allusion to great role that dumps of old mines have played in the discovery of new minerals. Type specimens are deposited in the Fersman Mineralogical Museum of the RASc., Moscow, in the Smithsonian National Museum of Natural History, Washington, and in the American Museum of Natural History, New York.

*Key words:* eurekaumpite, new mineral, tellurite, arsenate, oxidation zone of ore deposit, Centennial Eureka mine, Tintic, Utah.

<sup>1</sup> Новый минерал эврикадампит и его название одобрены Комиссией по новым минералам РМО и утверждены Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов ММА 1 декабря 2009 г. IMA No. 2009-072.

У теллура, несмотря на его очень малую распространенность в природе (кларк  $1 \cdot 10^{-7}$  %), известно более ста сорока собственных минералов. Вероятно, главная причина такого разнообразия — большое различие в эффективных радиусах между теллуrom и сходными по химическим свойствам и положению в периодической системе элементов, но более распространенными элементами — в первую очередь серой и в меньшей степени селеном. Это затрудняет рассеяние Te в их минералах и благоприятствует его обособлению с формированием собственных фаз.

В эндогенных процессах формируются главным образом бескислородные соединения теллура. Таких минералов на сегодня зафиксировано восемьдесят, и представлены они в подавляющем большинстве теллуридами и сульфотеллуридами — теллуросульфидами, которые в основном приурочены к гидротермальным золотым и полиметаллическим месторождениям. Теллуриды висмута, серебра, золота, свинца иногда встречаются в значительных количествах.

Кислородные соединения теллура не дают в природе сколь-либо существенных концентраций. Они образуются, за очень малым исключением, в зоне окисления руд, обогащенных эндогенными минералами этого элемента. Среди них преобладают теллуриды и теллураты — соли соответственно теллуристой  $H_2Te^{4+}O_3$  и теллуровой  $H_6Te^{6+}O_6$  кислот. Различия в химии, кристаллохимии и минералогии кислородных соединений серы, селена и теллура весьма велики — намного сильнее, чем у бескислородных. Так, сульфаты широко распространены в природе, тогда как сульфиты исключительно редки, а для селена ситуация обратная — селениты обычны в зоне окисления селенидных руд, а находки природных селенатов (их известно три среди трех десятков кислородных соединений Se) единичны. У теллура же в условиях зоны гипергенеза устойчивы как четырех-, так и шестивалентная формы. Он легко образует в природе не только «чистые» теллуриды и теллураты, но и сложные соли, в которых  $Te^{4+}$  и  $Te^{6+}$  присутствуют вместе (гирдит, екорант, обойерит, тлалокит, тлапаллит, этцит), формируя различные по конфигурации и размеру анионные группы.  $Te^{6+}$  по ионному радиусу заметно превышает  $Se^{6+}$  и  $S^{6+}$  (0.56, 0.42 и 0.30 Å соответственно при КЧ = 6: Shannon, Prewitt, 1969) и поэтому в отличие от них образует в минералах не тетраэдрический анион  $(Te^{6+}O_4)^{2-}$ , аналогичный сульфатному и селенатному, а октаэдрические группы  $(Te^{6+}O_6)^{6-}$  (Lam et al., 1998) или  $[Te^{6+}O_4(OH)_2]^{4-}$  (Grice, Roberts, 1996).

Эти особенности кристаллохимии теллура способствуют расширению разнообразия его гипергенных минералов за счет реализации структурных типов, невозможных для кислородных соединений серы и селена.

Несколько месторождений характеризуется особенно широким разнообразием теллуридов и теллуратов. Самым знаменитым и ярким из них является, несомненно, Моктецума в Соноре (Мексика), большинство же других расположено в аридной зоне юго-запада США — в Аризоне, Юте и Калифорнии. Именно к таким объектам относится месторождение Сентенниэл Эврика близ городка Эврика в рудном районе Тинтик, округ Хуаб, Юта (Centennial Eureka mine, near Eureka, Tintic district, Juab Co., Utah), из которого происходит описываемый в настоящей статье новый минерал эврикадампит (eureka dumpite). Его название имеет двойной смысл. В первую очередь оно отражает тот факт, что минерал установлен в образцах из отвалов (*dumps* — англ.) рудника Сентенниэл Эврика. Другой аспект связан с прямым переводом греческого слова *эврика* (εὕρηκα): «я нашел». В этом ключе название *эврикадампит* означает *найденный в отвалах*, подчеркивая важное значение отвалов отработанных месторождений как источника открытий новых минералов.

Месторождение Сентенниэл Эврика эксплуатировалось в период с 1876 по 1927 г. на медь, свинец, цинк, золото и серебро (главные рудные минералы — энаргит и галенит) и было одним из важнейших в горнорудном районе Тинтик. В 1992 г. началась переработка отвалов старого рудника с целью извлечения оставшихся в них полезных компонентов методом кучного выщелачивания. В этот период в свеже-

вскрытом отвальном материале были сделаны многочисленные минералогические находки, в том числе установлена разнообразная гипергенная теллуровая минерализация. На образцах из старых отвалов Сентенниэл Эврики за период 1994—1997 гг. описаны шесть новых минеральных видов: дженсенит  $\text{Cu}_3(\text{Te}^{6+}\text{O}_6) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , лейсингит  $\text{Cu}_2(\text{Mg,Fe})(\text{Te}^{6+}\text{O}_6) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , фрэнкхоторнит  $\text{Cu}_2[\text{Te}^{6+}\text{O}_4(\text{OH})_2]$ , хуабит  $\text{CaCu}_{10}(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)_4 \cdot (\text{AsO}_4)(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , макальпинейт  $\text{Cu}_3(\text{Te}^{6+}\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$  и ютаит  $\text{Cu}_2\text{Zn}_3\text{Te}_4\text{O}_{16}(\text{OH})_8 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Кроме них были обнаружены уже известные теллулаты и теллуриды: сесбронит, дугганит, кетцалькоатлит и ксокомекатлит (Roberts et al., 1997). В 1992 г. М. К. Дженсен собрал и штуфы с минералом, описываемым в настоящей статье. Несовершенство монокристаллов и отсутствие структурно родственных природных и синтетических соединений сильно затруднили его изучение. Семнадцатилетняя история исследования эврикадампита изложена в отдельном очерке (Pekov et al., 2010).

Эталонные образцы нового минерала переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве (рег. № 3962/1), в Смитсоновский музей естественной истории в Вашингтоне (№ 174877) и в Американский музей естественной истории в Нью-Йорке (№ 112206).

### УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ И МОРФОЛОГИЯ

Эврикадампит — один из наиболее распространенных гипергенных минералов теллура на месторождении. Он встречается в зоне окисления сульфидно-кварцевых руд, содержащих теллуриды, в основном гессит. С новым минералом ассоциируют малахит, макальпинейт, Zn-содержащий оливинит, гётит, оксиды Mn.

Эврикадампит находится в небольших полостях и трещинах агрегатов кварца. Обычно он образует наросты на щеточки кварца отдельные компактные сферолиты (чаще всего это полусферы) или розетки диаметром до 1 мм (рис. 1) и их сростки. Иногда они собраны в корочки, которые по площади достигают  $1.5 \times 1.5$  см. Индивиды нового минерала представляют собой очень тонкие шестиугольные или округлые листочки, достигающие 0.5 мм в поперечнике при толщине существенно менее 1 мкм. Все они в той или иной мере расщеплены — веерообразно или же в виде «роз», очень похожих по форме на хорошо известные «розы» гематита или слюд. В выбранной установке (см. ниже) главная габитусная грань листоватых кристаллов представляет собой пинакоид  $\{010\}$ .



Рис. 1. Сферолиты эврикадампита на кварце. Фото И. В. Пекова, А. В. Касаткина.

Fig. 1. Spherulites of eureka dumpite on quartz. Photo by I. V. Pekov and A. V. Kasatkin.

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Эврикадампит в тонких листочках прозрачен, а в агрегатах лишь слабо просвечивает. Он обладает ярким, насыщенным сине-зеленым до бирюзового цветом и светло-бирюзовой чертой. Блеск у агрегатов на поверхности шелковистый, а у отдельных листочков перламутровый. В ультрафиолетовых и катодных лучах минерал не люминесцирует. Спайность весьма совершенная (слодоподобная) по {010}, излом листоватый. Листочки эврикадампита гибки, но не упруги. Твердость по шкале Мооса  $2\frac{1}{2}$  – 3. Плотность, измеренная для агрегатов методом уравнивания в тяжелых жидкостях (раствор Клерича с водой), составляет 3.76(2), вычисленная — 3.826 г/см<sup>3</sup>. Пониженное значение измеренной плотности по сравнению с расчетной, очевидно, связано с некоторой пористостью агрегатов.

Эврикадампит оптически двуосный, отрицательный,  $n_p = 1.69(1)$ ,  $n_m \approx n_g = 1.775(5)$ ,  $2V_{\text{ном}} = 10(5)^\circ$ ,  $2V_{\text{вч}} = 0^\circ$ . Более точно измерить величину  $n_p$  не удалось из-за очень малой толщины индивидов. Минерал обладает сильным плеохроизмом:  $Y = Z =$  насыщенный сине-зеленый,  $X =$  светло-бирюзовый; схема абсорбции:  $Y = Z > X$ . Оптическая ориентировка:  $X = b$ .

## ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Инфракрасный спектр нового минерала получен с использованием стандартной методики таблетирования с KBr на двухлучевом спектрофотометре Specord 75 IR. Спектр таблетки чистого KBr вычитался в ходе записи в автоматическом режиме.

ИК-спектр эврикадампита (рис. 2) индивидуален и может рассматриваться как его диагностический признак. Волновые числа полос поглощения следующие (см<sup>-1</sup>; подчеркнуты сильные полосы, сл — слабые полосы): 3400 (широкая полоса, отвечающая валентным колебаниям O—H и указывающая на водородные связи средней силы, вероятно, образованные молекулами H<sub>2</sub>O), 2990 (широкая полоса, соответствующая валентным колебаниям O—H гидроксильных групп, образующих сильные водородные связи); 1980 сл (неотчетливая, очень слабая полоса, возможно, отвечающая кислотным группам O—H); 1628 (деформационные колебания молекул H<sub>2</sub>O); 1373 сл (предположительно отвечает слабосвязанному H<sup>+</sup>; см ниже); 1077 + 1010 (деформационные колебания групп  $M \cdots O—H$ , где  $M = Cu, Zn$ ); 860 + 825 + 803 (валентные колебания арсенатных групп  $As^{5+}O_4$ ); 721 сл (валентные колебания групп  $Te^{4+}O_3$  — антисимметричная валентная мода  $\nu_3$ ), 668 (валентные колебания групп  $Te^{4+}O_3$  — антисимметричная валентная мода  $\nu_3$ ), 622, 528, 461 [деформационные колебания групп  $Te^{4+}O_3$  — деформационная мода  $\nu_4(E)$ ]. В ИК-спектре нет полос, отвечающих колебаниям C-, N- и B-содержащих групп.

ИК-спектроскопия дает достоверную информацию о валентном и координационном состоянии As и Te, а также о характере H-содержащих групп в эврикадампите, что

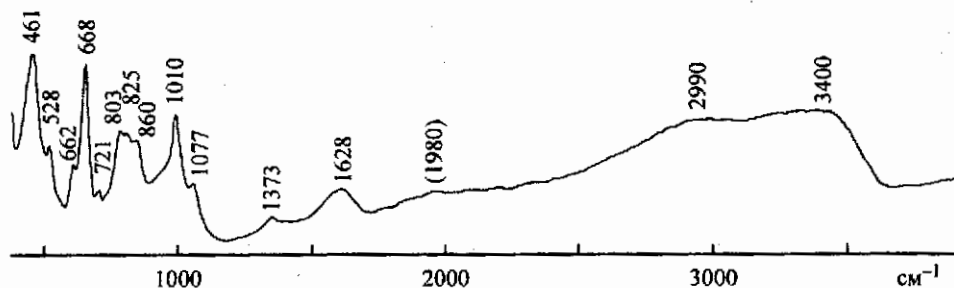


Рис. 2. ИК-спектр эврикадампита.

Fig. 2. IR spectrum of eurekaumpite.

очень важно, поскольку кристаллическую структуру этого минерала решить не удалось.

Самые сильные характеристические полосы анионов  $(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)^{2-}$  в ИК-спектрах поглощения обычно наблюдаются в областях 635—700 (антисимметричные валентные колебания) и 450—480  $\text{см}^{-1}$  (деформационные колебания). По положениям максимумов сильнейших полос колебаний  $\text{Te—O}$  в ИК-спектре (668 и 461  $\text{см}^{-1}$ ) эврикадампит очень близок к другим природным теллуридам — эммонситу  $\text{Fe}_2^{3+}(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (637 + 671 и 452  $\text{см}^{-1}$ ) и земанниту  $\text{Mg}_{0,5}\text{ZnFe}^{3+}(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)_3 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$  (640 + 699 и 460  $\text{см}^{-1}$ ).

Отметим, что расщепление полосы симметричных валентных колебаний ( $\nu_1$ ) в ИК-спектре эммонсита (637 + 671  $\text{см}^{-1}$ ) отражает присутствие симметрически неэквивалентных групп  $\text{Te}^{4+}\text{O}_3$  в его структуре (Pertlik, 1972) вследствие сильного поляризующего влияния катиона  $\text{Fe}^{3+}$ . Существенное расщепление этой полосы, сопровождаемое сдвигом к низким частотам (625 + 657 + 737, а также дублет 472 + 506  $\text{см}^{-1}$ ), наблюдается в спектре родалкиларита  $\text{H}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)_4\text{Cl}$  — кислого теллурита  $\text{Fe}^{3+}$ . В ИК-спектре эврикадампита эта полоса не расщеплена, что говорит об эквивалентности или близости между собой всех групп  $\text{Te}^{4+}\text{O}_3$  в его структуре.

По положению полос, отвечающих колебаниям  $\text{Te—O}$ , теллуриды четко отличаются от теллуратов. Главные характеристические полосы групп  $\text{Te}^{6+}\text{O}_6$ , имеющих октаэдрическую конфигурацию, в ИК-спектрах поглощения теллуратов лежат в диапазоне волновых чисел ниже 630  $\text{см}^{-1}$ . Например, сильнейшая полоса валентных колебаний  $\text{Te—O}$  в спектре куранахита  $\text{PbMn}^{4+}(\text{Te}^{6+}\text{O}_6)_6$ , содержащего октаэдры  $\text{Te}^{6+}\text{O}_6$  (Frost, Keeffe, 2009), находится при 573  $\text{см}^{-1}$ .

В ИК-спектре продукта прокаливания эврикадампита при 1080 °С в токе кислорода отсутствует полоса при 668  $\text{см}^{-1}$ , но наблюдается сильный дублет 619 + 580  $\text{см}^{-1}$ , которого не было в исходном минерале. Это четко указывает на то, что при нагревании в кислородной атмосфере происходит окисление  $\text{Te}^{4+}$  до  $\text{Te}^{6+}$  с трансформацией анионов  $(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)^{2-}$ , имеющих форму тригональной пирамиды, в октаэдры  $(\text{Te}^{6+}\text{O}_6)^{6-}$ .

Все эти данные демонстрируют, что эврикадампит содержит не  $\text{Te}^{6+}$ , а  $\text{Te}^{4+}$  в виде теллуритного аниона  $(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)^{2-}$ .

Присутствие волос в интервале 800—870  $\text{см}^{-1}$  однозначно свидетельствует о нахождении мышьяка в новом минерале в форме  $\text{As}^{5+}\text{O}_4$  (арсенат-ион), а не в виде  $\text{As}^{3+}$ -содержащих групп.

Слабые полосы при 1980 и 1373  $\text{см}^{-1}$  в ИК-спектре эврикадампита предположительно отражают взаимодействие между слабосвязанными  $\text{H}^+$  и  $\text{O}^{2-}$ . Скорее всего, это относится к арсенатному аниону. Протонирование групп  $(\text{As}^{5+}\text{O}_4)^{3-}$  за счет находящегося рядом в структуре молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , в соответствии со схемой динамического равновесия  $\text{H}_2\text{O}^0 + \text{AsO}_4^{3-} \leftrightarrow \text{OH}^- + \text{HASO}_4^{2-}$ , в целом очень типично для водных арсенатов, причем даже тех, которые традиционно рассматриваются как нейтральные соли, без выделения в их идеализированных формулах  $\text{OH}^-$  или  $\text{H}^+$  (Пеков и др., 2001).

Имеющая высокую интегральную интенсивность широкая полоса при 2990  $\text{см}^{-1}$  (валентные колебания гидроксильных групп, образующих сильные водородные связи) и особенно сильные узкие полосы деформационных колебаний  $\text{M} \cdots \text{O—H}$  (в первую очередь при 1010, а также при 1077  $\text{см}^{-1}$ ) указывают на то, что катионы  $\text{Cu}$  и  $\text{Zn}$  ( $\text{M}$ ) в эврикадампите в значительной мере координированы гидроксильными группами. Это послужило веским основанием для введения в идеализированную формулу нового минерала в качестве дополнительного аниона  $\text{OH}^-$ , а не  $\text{O}^{2-}$ .

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Содержания большинства компонентов в эврикадампите определены на волновом электронно-зондовом микроанализаторе Camebax SX 50 при ускоряющем напряжении 15 кВ и силе тока 30 нА. Анализы выполнены расфокусированным зондом с площадью  $10 \times 10$  мкм для минимизации повреждения неустойчивого высоководного минерала в ходе анализа. Эталоны:  $\text{Cu}$  —  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}$  —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Zn}$  —  $\text{ZnS}$ ,  $\text{Te}$  —  $\text{Ag}_2\text{Te}$ ,  $\text{As}$  —

FeAsS, Cl — надорит. Концентрации прочих элементов с атомными номерами >8 оказались ниже пределов обнаружения, лишь в отдельных точках зафиксировано <0.05 мас. % Mg, Mn или Al.

Содержание H<sub>2</sub>O определено по методу Алимарина: путем селективной сорбции H<sub>2</sub>O из газообразных продуктов прокаливания минерала [1080 °C, 1 атм, в токе кислорода; использовались поглотительные трубки, заполненные Mg(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>].

Химический состав эврикадампита (мас. %; среднее из 14 анализов, в скобках — пределы колебаний): FeO 0.04 (0.00—0.1), CuO 36.07 (35.3—38.5), ZnO 20.92 (20.0—21.6), TeO<sub>2</sub> 14.02 (13.1—15.0), As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 14.97 (13.2—15.9), Cl 1.45 (1.3—1.7), H<sub>2</sub>O 13.1, —O=Cl<sub>2</sub> —0.33, сумма 100.24.

Эмпирическая формула, рассчитанная на 2 атома Te, такова: H<sub>33.10</sub>Fe<sub>0.01</sub>Cu<sub>10.32</sub> · Zn<sub>5.85</sub>Te<sub>2</sub>As<sub>2.97</sub>Cl<sub>0.93</sub>O<sub>44.62</sub>, или после группировки компонентов: (Cu<sub>10.32</sub>Zn<sub>5.85</sub>Fe<sub>0.01</sub>)<sub>Σ16.18</sub> · (TeO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2.97</sub>[Cl<sub>0.93</sub>(OH)<sub>0.07</sub>]<sub>Σ1</sub>(OH)<sub>18.45</sub> · 7.29H<sub>2</sub>O. Идеализированная формула эврикадампита: (Cu,Zn)<sub>16</sub>(TeO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl(OH)<sub>18</sub> · 7H<sub>2</sub>O.

Вполне вероятно, что Cu и Zn в новом минерале упорядочены (см. ниже). В этом случае формула принимает вид Cu<sub>10</sub>Zn<sub>6</sub>(TeO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl(OH)<sub>18</sub> · 7H<sub>2</sub>O, а рассчитанные для нее содержания компонентов составляют: CuO 35.15, ZnO 21.56, TeO<sub>2</sub> 14.10, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15.23, Cl 1.57, H<sub>2</sub>O 12.74, —O=Cl<sub>2</sub> —0.35, сумма 100.00 мас. %. Однако доказательств упорядочения этих катионов у нас нет, и поэтому мы даем медь и цинк в идеализированной формуле без разделения — (Cu,Zn)<sub>16</sub>.

Индекс сходимости состава и свойств, рассчитанный по уравнению Гладсто-на—Дейла (Mandarino, 1981), составляет —0.019 для измеренного значения плотности и —0.001 для вычисленного, т. е. *superior* в обоих случаях.

## РЕНТГЕНОВСКИЕ ДАННЫЕ

Порошковое рентгеновское исследование эврикадампита выполнено на монокристалльном дифрактометре STOE IPDS II, оснащенный IP-детектором и позволяющем регистрировать рентгенограммы по принципу, используемому в камере Гандольфи. Использовалась Mo<sub>Kα</sub>-излучение. Рентгенограмма порошка нового минерала (табл. 1) индивидуальна, и по ней он может быть однозначно диагностирован.

Многочисленные попытки монокристалльного исследования эврикадампита с использованием как рентгеновского, так и синхротронного излучения не привели к успеху по причине тончайшей расщепленности его индивидов. Однако в результате этих попыток было установлено, что две характеристики устойчиво воспроизводятся. Во-первых, минерал стабильно демонстрирует картину, близкую к гексагональной, где псевдоось 6-го порядка перпендикулярна плоскости весьма совершенной спайности (что согласуется с шестиугольной формой индивидов). Во-вторых, один из векторов ячейки, лежащий в плоскости спайности, устойчиво фиксируется в интервале 8.1—8.3 Å. Эти данные помогли при выборе элементарной ячейки, осуществленном в первую очередь на основании порошковых рентгенографических данных.

Опираясь на отчетливо псевдогексагональный характер нового минерала, мы выбрали моноклинную ячейку с углом β, близким к 120°, и соответственно осью *b*, перпендикулярной к плоскости спайности (и наиболее развитой грани листоватых кристаллов). Специально снятая порошковая рентгенограмма плоского препарата с преимущественной, в соответствии со слюдоподобной спайностью, ориентацией частичек минерала показала заметное усиление рефлексов с межплоскостными расстояниями 18.9, 9.45, 6.25, 4.73, 3.78 Å, что позволило проиндентифицировать их как серию *0k0* и определить, что *b* ≈ 18.9 Å (или кратно увеличенное значение). Это можно рассматривать и как аргумент в пользу того, что эврикадампит имеет слоистую структуру со слоями, перпендикулярными [010].

Исходя из предположения, что один из параметров ячейки, лежащих в плоскости *ac*, находится в пределах 8.1—8.3 Å, и принимая во внимание, что объем элементарной ячейки эврикадампита, скорее всего, кратен ≈ 1000 Å<sup>3</sup> (это допущение базируется

## Результаты расчета порошковой рентгенограммы эврикадампита

## X-ray powder-diffraction data of eurekaumpite

$I_{\text{изм}}$	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}$	$hkl$
100	18.92	18.97	010
19	9.45	9.485	020
6	6.97	7.075	100
7	6.25	6.323, 6.306	030, 001
4	5.45	5.509	$\bar{1}21$
2	5.20	5.251	021
10	4.716	4.743, 4.715	040, 130
2	4.480	4.465	031
13	4.111	4.135	$\bar{2}01$
24	3.777	3.794, 3.791, 3.790	050, $\bar{2}21$ , 041
4	3.549	3.546, 3.538	121, 200
2	3.290	3.309, 3.272	$\bar{1}51$ , 131
7	3.181	3.187, 3.178, 3.162, 3.153	$\bar{2}22$ , $\bar{1}32$ , 060, 002
2	2.867	2.887, 2.865	160, $\bar{1}61$
15	2.692	2.710, 2.693, 2.693	$\bar{3}11$ , 151, $\bar{3}02$
8	2.604	2.615	$\bar{3}21$
41	2.524	2.531, 2.525, 2.516	170, $\bar{2}52$ , $\bar{1}71$
3	2.450	2.457, 2.451, 2.446	$\bar{3}32$ , $\bar{2}03$ , 102
8	2.399	2.397, 2.381, 2.379	$\bar{1}62$ , $\bar{1}03$ , 231
2	2.311	2.310, 2.309	$\bar{2}62$ , $\bar{1}23$
7	2.155	2.151	270
2	2.064	2.068, 2.062, 2.058	402, $\bar{3}61$ , $\bar{2}53$
1	2.020	2.020, 2.020, 2.017, 2.015	422, 190, $\bar{1}53$ , 181
3	1.981	1.983, 1.970	411, 280
3	1.941	1.942, 1.939, 1.937, 1.937	$\bar{2}82$ , $\bar{3}53$ , 403, $\bar{2}63$
2	1.915	1.920, 1.912	371, 202
5	1.815	1.818, 1.818, 1.817, 1.816, 1.816, 1.811	$\bar{2}73$ , $\bar{3}04$ , 0.10.1, 172, $\bar{4}52$ , 290
3	1.803	1.805	$\bar{2}24$
2	1.624	1.626, 1.626, 1.624	$\bar{5}22$ , 0.10.2, $\bar{5}13$
1	1.606	1.610, 1.606, 1.606, 1.603	153, $\bar{5}23$ , $\bar{4}71$ , 450
22	1.558	1.562, 1.561, 1.560, 1.560, 1.559, 1.558, 1.556, 1.555	272, $\bar{1}11.2$ , $\bar{5}11$ , 371, $\bar{5}42$ , $\bar{4}82$ , $\bar{3}10.1$ , 024
4	1.520	1.523, 1.521, 1.519	322, $\bar{2}74$ , $\bar{5}31$
5	1.446	1.448, 1.448, 1.447, 1.446, 1.443, 1.443, 1.443	491, $\bar{3}11.2$ , $\bar{5}51$ , $\bar{2}15$ , 2.12.0, $\bar{5}44$ , $\bar{3}84$
3	1.332	1.333, 1.333, 1.331, 1.330, 1.330	0.11.3, $\bar{6}04$ , 1.14.0, $\bar{6}32$ , $\bar{6}14$
1	1.282	1.284, 1.284, 1.283, 1.283, 1.281, 1.281, 1.281	402, $\bar{1}10.4$ , $\bar{6}44$ , $\bar{6}11$ , 412, $\bar{6}52$ , 2.11.2

на измеренной плотности и значении молекулярной массы, полученном из эмпирической формулы, и подтверждается тем, что величина индекса сходимости по Гладстону—Дейлу очень низкая — *superior*), мы рассчитали приблизительные значения параметров моноклинной элементарной ячейки псевдогексагонального типа с минимальным возможным объемом ( $Z = 1$ ):  $a \approx 8.2$ ,  $b \approx 18.9$ ,  $c \approx 7.4 \text{ Å}$ ,  $\beta \approx 120^\circ$ .

Все отражения порошковой рентгенограммы эврикадампита, включая малоугловые ( $d > 4 \text{ Å}$ ), удовлетворительно проиндицировались в такой ячейке. Далее ее параметры были уточнены по всем линиям порошкограммы (табл. 1):  $a = 8.28(3)$ ,  $b = 18.97(2)$ ,  $c = 7.38(2) \text{ Å}$ ,  $\beta = 121.3(6)^\circ$ ,  $V = 990(6) \text{ Å}^3$ ,  $Z = 1$ .

По совокупности рефлексов рентгенограммы порошка, для которых индексы  $hkl$  в данной ячейке могут быть выбраны с достаточной определенностью (область  $d > 4 \text{ Å}$ ),

Сравнительная характеристика природных теллуридов и теллуридов, содержащих в качестве главных катионов одновременно медь и цинк  
Comparative characteristics of natural tellurites and tellurates containing both copper and zinc as major cations

Характеристика	Кетцалькоатлит	Гладокит	Ютант	Эврикадампит
Формула (вариант с неупорядоченными Cu и Zn)	—	$(\text{Cu,Zn})_{16}(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)(\text{Te}^{6+}\text{O}_4)_2 \cdot \text{Cl}(\text{OH})_{25} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	$(\text{Cu,Zn})_{16}\text{Te}_8\text{O}_{32}(\text{OH})_{16} \cdot 14\text{H}_2\text{O}^{**}$	$(\text{Cu,Zn})_{16}(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)_2(\text{AsO}_4)_3 \cdot \text{Cl}(\text{OH})_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Формула (вариант с упорядоченными Cu и Zn)	$\text{Zn}_6\text{Cu}_3(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)_2\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot [(\text{Pb}_{0,3}\text{Ag}_{0,24})\text{Cl}_{0,84}]$	$\text{Cu}_{10}\text{Zn}_6(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)(\text{Te}^{6+}\text{O}_4)_2 \cdot \text{Cl}(\text{OH})_{25} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu}_{10}\text{Zn}_6\text{Te}_8\text{O}_{32}(\text{OH})_{16} \cdot 14\text{H}_2\text{O}^{**}$	$\text{Cu}_{10}\text{Zn}_6(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)_2(\text{AsO}_4)_3 \cdot \text{Cl}(\text{OH})_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Содержание $\text{H}_2\text{O}$ , мас. %	4.4 (выч.)	27.7 (изм.)*	12.9 (выч.)	13.1 (изм.)
Сингония	Тригональная	Ромбическая (?)	Триклинная	Моноклиная
Пространственная группа	$P\bar{3}m1$		$P1$ или $P\bar{1}$	$P2/m$ , $P2$ или $Pm$ (?)
$a$ , Å	10.145	16.780	8.794	8.28
$b$ , Å		19.985	9.996	18.97
$c$ , Å	4.993	12.069	5.660	7.38
$\alpha, \beta, \gamma$ , °			104.10, 90.07, 96.34	$\beta$ 121.3
$V$ , Å <sup>3</sup>	445	4047	479	990
$Z$	1	4	1**	1
Главная серия базальных рефлексов порошковой рентгенограммы, $d(\text{Å})-l-hkl$	Нет выраженной серии интенсивных базальных рефлексов (наиболее сильное отражение базальной серии 00 $l$ : 2.47—16—002)	16.80—100—100 8.39—80—200 5.59—10—300 4.20—100—400 3.36—60—500	9.638—100—010 4.841—100—020 3.203—10—030 2.409—20—040 1.927—10—050 1.605—10—060	18.92—100—010 9.45—19—020 6.25—7—030 4.716—10—040 3.777—24—050 3.181—7—060
Оптические свойства				
$n_p$	1.740 ( $n_g$ )	1.758		1.69
$n_m$		1.796	1.84—1.90 (выч. из коэф. отражения)	1.775
$n_k$	1.802 ( $n_o$ )	1.810		1.775
опт. знак, $2V$	—0°	—64°		—10°
Плотность, г/см <sup>3</sup>	4.82 (выч.)	4.55 (изм.) 4.58 (выч.)	5.33 (выч.)	3.76 (изм.) 3.826 (выч.)
Литературный источник	Williams, 1973; Burns et al., 2000b	Williams, 1975; Roberts, 1978	Roberts et al., 1997	Настоящая работа

Примечание. Из четырех приведенных в таблице минералов только для кетцалькоатлита решена кристаллическая структура и однозначно установлена упорядоченность Cu и Zn; \* — скорее всего, содержание воды в гладоките сильно завышено (см. комментарий в тексте); \*\* — в оригинале (Roberts et al., 1997) для ютанта дана формула  $\text{Cu}_5\text{Zn}_3(\text{Te}^{6+}\text{O}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ( $Z = 1$ ), но валентное состояние теллура не определялось; здесь коэффициенты в формуле ютанта удвоены для удобства сопоставления с гладокитом и эврикадампитом.



мы попытались определить закон погасания. Если исходить из этих данных, то наиболее вероятно для эврикадампита одна из трех пространственных групп:  $P2/m$ ,  $P2$  или  $Pm$ .

Отметим, что с помощью матрицы  $[001 / 010 / \bar{1}0\bar{1}]$  можно от упомянутой ячейки перейти к другой, имеющей тот же объем, но меньшие значения параметра  $a$  и угла  $\beta$ :  $a = 7.72$ ,  $b = 18.97$ ,  $c = 7.38 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 113.5^\circ$ ,  $V = 991 \text{ \AA}^3$ . Однако, чтобы подчеркнуть псевдогексагональный характер минерала, мы все же остановились на первоначально выбранной ячейке с углом моноклинности, близким к  $120^\circ$ .

Попытки проиндцировать порошкограмму эврикадампита в ячейках принципиально других типов, включая гексагональные, не увенчались успехом: во всех случаях (без кратного увеличения объема, что представляется неоправданным) остаются непроиндцированные малоугловые рефлекссы.

### СООТНОШЕНИЯ С ДРУГИМИ МИНЕРАЛАМИ

В литературе и электронных базах данных не удалось найти природных и синтетических соединений, которые были бы близки к эврикадампиту по химическому составу, порошковой рентгенограмме, ИК-спектру и оптическим свойствам. Два других минерала, в которых одновременно присутствуют кислородсодержащие анионы с As и Te, — дугганит  $Pb_3Zn_3(Te^{6+}O_6)(AsO_4)_2$  (Lam et al., 1998) и хуабит  $CaCu_{10}(Te^{4+}O_3)_4 \cdot (AsO_4)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  (Burns et al., 2000a) — принципиально от него отличаются.

Помимо нового минерала в природе известны еще три кислородных соединения теллура с тем же набором главных катионов металлов — Cu и Zn: ютаит, кетцалькоатлит и тлалокит, причем два последних, как и эврикадампит, содержат хлор (табл. 2).

Кристаллическая структура тригонального кетцалькоатлита имеет слоистый характер: в ней чередуются перпендикулярные  $[001]$  слои двух типов, одни из которых образованы октаэдрами  $Te^{6+}O_6$  и  $Cu^{2+}O_4(OH)_2$ , а другие — тетраэдрами  $ZnO_2(OH)_2$  (Burns et al., 2000b). Структуры тлалокита, ютаита и эврикадампита неизвестны, но можно предположить, что эти три минерала обладают пусть и отдаленным, но все же родством. Во-первых, они характеризуются одинаковым соотношением  $Cu : Zn = 5 : 3$ . Во-вторых, самые сильные линии их порошковых рентгенограмм принадлежат к хорошо проявленным сериям базальных рефлекссов (табл. 2), что косвенно указывает на слоистый характер структур. В то же время набор и количественные соотношения анионов, общее содержание воды и величина параметра ячейки, отвечающего самой интенсивной серии базальных рефлекссов (и соответственно наиболее уверенно определяемого), у этих минералов существенно различаются. Можно предположить, что в основе структур тлалокита, ютаита и эврикадампита лежат слои полиэдров Cu и Zn, перпендикулярные этому направлению, а характер и расположение анионов и молекул  $H_2O$  у каждого из них индивидуален, что и обуславливает различия в рентгеновских, оптических и других характеристиках. Судя по устойчивому стехиометричному соотношению Cu и Zn, тип структурного мотива, образуемого этими катионами, можно считать для всех минералов близким, а размещение атомов меди и цинка — упорядоченным, подобно тому как это установлено для теллурита кетцалькоатлита и целого ряда природных арсенатов, фосфатов и других. Однако все это пока остается на уровне предположений.

Отметим, что, судя по плотности и показателям преломления тлалокита, содержание  $H_2O$  в нем должно быть намного ниже определенной С. Вильямсом (1975) величины 27.7 мас. %. На это указывает, в частности, результат проведенного нами расчета индекса сходимости по Гладстону—Дейлу для данного минерала, дающий  $>0.2$  (poor).

Авторы благодарны И. А. Брызгалову и Л. А. Коршуновой за помощь в изучении химического состава, а Я. Е. Филинчуку и С. Н. Бритвину за содействие в получении кристаллографических характеристик эврикадампита. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00143-а, а также грантов президента РФ МК-320.2010.5 и НШ-4034.2010.5.

## Список литературы

- Пеков И. В., Виноградова Р. А., Чуканов Н. В., Куликова И. М. О магнезиальных и кобальтовых арсенатах групп файрфилдита и розелита // ЗВМО. 2001. № 4. С. 10—23.
- Burns P. C., Clark C. M., Gault R. A. Juabite,  $\text{CaCu}_{10}(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)_4(\text{AsO}_4)_4(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4$ : crystal structure and revision of the chemical formula // *Canad. Miner.* 2000a. Vol. 38. P. 823—830.
- Burns P. C., Pluth J. J., Smith J. V., Eng P., Steele I., Housley R. M. Quetzalcoatlite: A new octahedral-tetrahedral structure from a  $2 \times 2 \times 40 \mu\text{m}^3$  crystal at the Advances Photon Source-GSE-CARS Facility // *Amer. Miner.* 2000b. Vol. 85. P. 604—607.
- Frost R. L., Keefe E. C. Raman spectroscopic study of kuranakhite  $\text{PbMn}^{4+}\text{Te}^{6+}\text{O}_6$  — a rare tellurate mineral // *J. Raman Spectroscopy*. 2009. Vol. 40(3). P. 249—252.
- Grice J. D., Roberts A. C. Frankhawthorneite, a unique HCP framework structure of a cupric tellurate // *Canad. Miner.* 1995. Vol. 33. P. 823—830.
- Lain A. E., Groat L. A., Ercit T. S. The crystal structure of dugganite,  $\text{Pb}_7\text{Zn}_3\text{TeAs}_2\text{O}_{14}$  // *Canad. Miner.* 1998. Vol. 36. P. 823—830.
- Mandarino J. A. The Gladstone—Dale relationship: Part IV. The compatibility concept and its application // *Canad. Miner.* 1981. Vol. 19. P. 441—450.
- Pekov I. V., Jensen M. C., Roberts A. C., Nikischer A. J. A new mineral from an old locality: eurekaumpite takes seventeen years to characterize // *Mineral News*. 2010. Vol. 26(2). P. 1—3.
- Pertlik F. Der Strukturtyp von Emmonsit,  $\{\text{Fe}_2(\text{TeO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}\} \cdot x\text{H}_2\text{O}$  ( $x = 0—1$ ) // *Tschermaks Miner. Petrog. Mitt.* 1972. Vol. 18. P. 157—168.
- Roberts A., Stirling J. A. R., Criddle A. J., Jensen M. C., Moffatt E. A., Wiulson W. E. Utahite, a new mineral and associated copper tellurates from the Centennial Eureka mine, Tintic district, Juab County, Utah // *Miner. Record*. 1997. Vol. 27. P. 175—179.
- Roberts A. C. An orthorhombic cell for tlalocite // *Geol. Surv. Can.* 1978. Paper 78—1C. P. 104.
- Shannon R. D., Prewitt C. T. Effective ionic radii in oxides and fluorides // *Acta Cryst.* 1969. C25. P. 925—945.
- Williams S. Quetzalcoatlite,  $\text{Cu}_4\text{Zn}_8(\text{TeO}_3)_3(\text{OH})_{18}$ , a new mineral from Moctezuma, Sonora // *Miner. Mag.* 1973. Vol. 39. P. 261—263.
- Williams S. Xocomecatlite,  $\text{Cu}_3\text{TeO}_4(\text{OH})_{18}$ , and tlalocite,  $\text{Cu}_{10}\text{Zn}_6(\text{TeO}_3)(\text{TeO}_4)_2\text{Cl}(\text{OH})_{25} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ , two new minerals from Moctezuma, Sonora, Mexico // *Miner. Mag.* 1975. Vol. 40 / P. 221—226.

Поступила в редакцию  
26 февраля 2010 г.

УДК 549.657+548.6

ЗРМО, № 4, 2010 г.  
Zapiski RMO, N 4, 2010

S. F. NOMURA,\* D. ATENCIO,\* N. V. CHUKANOV,\*\* R. K. RASTSVETAeva,\*\*\*  
J. M. V. COUTINHO,\* T. K. KARIPIDIS\*\*\*

### MANGANOEUdIALYTE — A NEW MINERAL FROM POÇOS DE CALDAS, MINAS GERAIS, BRAZIL

\* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, 05508-080, São Paulo, SP, Brazil;  
e-mail: datencio@usp.br

\*\* Institute of Problems of Chemical Physics, 142432 Chernogolovka, Moscow Oblast, Russia

\*\*\* Institute of Crystallography, Russian Academy of Sciences,  
Leninskii Prospect 59, Moscow 119333, Russia

Manganoeudialyte, ideally  $\text{Na}_{14}\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3[\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_2]\text{Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , is a new mineral from a khibinite from the northern edge («Anel Norte») of the alkaline Poços de Caldas massif, Minas Gerais, Brazil. The new mineral species has been approved by the CNMNC (IMA 2009-039).

*Key words:* manganoeudialyte, new mineral, eudialyte-group minerals, crystal structure, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil.

© С. Ф. НОМУРА, Д. АТЕНСИО, д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ, д. чл. Р. К. РАСЦВЕТАЕВА,

Ж. М. В. КОУТИНЬО, Т. К. КАРИПИДИС. МАНГАНОЭВДИАЛИТ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ  
ИЗ МАССИВА ПОСОС ДЕ КАЛЬДАС, МИНАС ЖЕРАИС, БРАЗИЛИЯ

Новый минерал манганозвдиалит  $\text{Na}_{14}\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3[\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_2]\text{Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  обнаружен в составе хибинита из северной части щелочного массива Посос де Кальдас (Минас Жераис, Бразилия) в