

**К ХАРАКТЕРИСТИКЕ РИТМИЧНО-ЗОНАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ВОКЕЛЕНИТА
И ЭМБРЕЙИТА ИЗ БЕРЕЗОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)**

Д.А. Ханин, И.В. Пеков, Л.И. Марущенко

Геологический факультет МГУ, Москва, Россия; tamontenok49@yandex.ru

**ON THE CHARACTERIZATION OF RHYTHMI ZONAL AGGREGATES
OF VAUQUELINITE AND EMBREYITE FROM THE BEREZOVSKOYE DEPOSIT
(MIDDLE URALS)**

D.A. Khanin, I.V. Pegov, L.I. Marushchenko

Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

История изучения хроматов начинается с открытия в 1767 году И.Г. Леманом крокоита в зоне окисления Берёзовского золоторудного месторождения на Среднем Урале. В дальнейшем здесь же были открыты ещё четыре минерала этого класса: вокеленит $Pb_2Cu(CrO_4)(PO_4)(OH)$ (1773 г.), фёникохроит $Pb[CrO_4]O$ (1830 г.), эмбрейит $Pb_5[CrO_4]_2[PO_4]_2 \cdot H_2O$ (1972 г.), касседаннит $Pb_5[VO_4]_2[CrO_4]_2 \cdot H_2O$ (1988 г.) и форнасит $Pb_2Cu[CrO_4][AsO_4](OH)$ (1996 г.). Природные хроматы немногочисленны и в большинстве своём относятся к весьма редким минералам. Наиболее распространены и хорошо изучены среди них крокоит, вокеленит и форнасит: для них известны десятки местонахождений, в то время как для эмбрейита, фёникохроита и касседаннита основной объём опубликованного материала по сей день относится к Берёзовскому месторождению.

Данных по онтогении природных хроматов и о взаимоотношениях их между собой в литературе мало. Представляется интересным рассмотреть в этом ключе эмбрейит, вокеленит и форнасит, которые, как недавно установлено (Ханин и др., 2015), образуют непрерывную систему твёрдых растворов с неизоструктурными конечными членами. Краткие сведения о взаимоотношениях этих минералов можно найти в работе С.А. Вильямса (Williams, 1974), где приведено обобщение основных результатов исследования природных хроматов свинца, выполненных до начала 1970-х гг. С.А. Вильямс отмечает, что агрегаты и даже индивиды вокеленита и эмбрейита нередко характеризуются на микроуровне сложным строением и значительной неоднородностью, как внутрифазовой, так и фазовой, что затрудняет их исследование (Williams, 1974). На это же указывали и более ранние исследователи, например, Ф. Пизани (Pisani, 1880), описавший предположительно новый хромат-фосфат свинца и меди красно-оранжевого цвета с жёлтой чертой, который не был изучен в достаточной мере из-за нехватки материала. Возможно, это описание относится к эмбрейиту. С трудностью диагностики хромат-фосфатов столкнулась и Е.Ф. Чирва (1935) при описании минерала, для которого мы сейчас предполагаем принадлежность к эмбрейиту, и его взаимоотношения с вокеленитом. Она приводит описание зональных почек, где наблюдается чередование слоев жёлтого и зелёного цвета, которые достаточно легко отделяются друг от друга. Также в этой работе отмечается, что именно в таких агрегатах и наблюдается «лакманит», который обычно ассоциирует с пироморфитом, крокоитом, «фёницитом» и чижиково-жёлтой землистой массой, описывавшейся как «фосфохромит» (Чирва, 1935). В ходе дальнейшего исследования подобные зональные почки были изучены Д.А. Клеймёновым с соавторами (1998); эти исследователи отмечают, что почки имеют тонко-ритмичное строение с чередованием эмбрейитовых и вокеленитовых слоёв, причем содержание CuO в эмбрейите колеблется от 1.4 до 4.5 мас.% (но при этом не указано точного местоположения точек анализа в разрезе почки). В ходе дальнейших работ Д.А. Клеймёнов с соавторами выделили для эмбрейита два морфологических типа. Первый из них представляет собой корочки толщиной 3–5 мм с яснокристаллической поверхностью, а второй – мелко- и тонкозернистые массы, образующие ритмично-слоистые агрегаты с вокеленитом (Клеймёнов и др., 2003); детального изучения вариаций химического состава вокеленита и эмбрейита в таких агрегатах не проводилось.

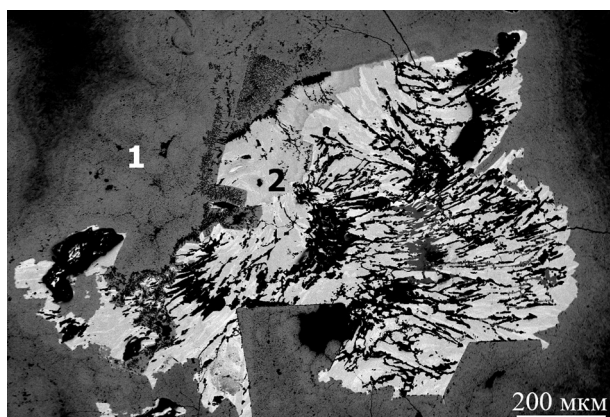


Рис. 1. Нарастание вокелениновой корки (1) на эмбрейит (2). Обр. ST-2574 (здесь и далее – из коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН). РЭМ-фото в отражённых электронах. Ширина поля 1.4 мм.

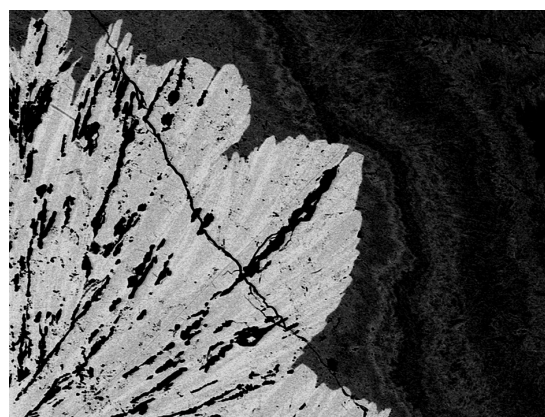


Рис. 2. Нарастание вокеленита на расщеплённые кристаллы эмбрейита. Обр. 34162. РЭМ-фото в отражённых электронах. Ширина поля 0.4 мм.

В настоящей работе рассмотрены наиболее интересные с генетической точки зрения ритмично-зональные образования, сложенные минералами системы твёрдых растворов эмбрейит-вокеленит-форнасит. Нами изучены образцы подобного строения из коллекций Минералогического музея имени А.Е. Ферсмана РАН (Москва), а также из коллекций Н.Б. Беленкова и наших; все они происходят из Берёзовского месторождения. Большинство электронно-зондовых анализов минералов выполнено одним из авторов (Д. Ханиным) на микроанализаторе Camebax SX 50 (кафедра минералогии Геологического факультета МГУ) при ускоряющем напряжении 15 кВ и силе тока зонда 30 нА. Использовались следующие эталоны: As, Ca – тилазит; Al, Fe, Cr – шпинелид; Cu – Cu_2O ; S – BaSO_4 ; Sb – надорит; Pb, V – ванадинит; Zn – ZnO ; P – KTiPO_5 . РЭМ-фотографии получены в Лаборатории локальных методов исследования вещества Геологического факультета МГУ при помощи сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-6480LV, оснащённого волновым дифракционным спектрометром Inca Wave 500 и энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 с Li-Si полупроводниковым детектором и сверхтонким окном ATW-2. Содержание H_2O прямым методом не определялось.

Размеры ритмично-зональных почек колеблются в широких пределах: от первых миллиметров до нескольких сантиметров в поперечнике. Почки, срастаясь друг с другом, образуют корки, мощность которых до 1–2 см, а площадь – до 10 см^2 . Ядра наиболее крупных почек сложены мономинеральным медово-коричневым эмбрейитом, который к периферии сменяется вокеленитом: часто наблюдается ритмичное нарастание слоёв эмбрейита и вокеленита с постепенным уменьшением толщины эмбрейитовых зон к периферии почки и увеличением толщины вокелениновых. В целом, толщина слоёв этих минералов колеблется от 0.1 до 3 мм. Поверхность почек обычно инкрустирована кристаллами вокеленита. При изучении срезов некоторых почек под сканирующим электронным микроскопом (в отражённых электронах) выявлено, что центральная часть их сложена яснокристаллическим эмбрейитом с небольшими кавернами (рис. 1), которые иногда выполнены вокеленитом. Встречаются друзовые сростки эмбрейита, состоящие из расщеплённых кристаллов (рис. 2). Граница между эмбрейитом и вокеленитом резкая, постепенных переходов не наблюдается. Иногда на периферии эмбрейитового ядра почки присутствуют включения вокеленита сложной формы, размер которых редко превышает 0.1 мм. Концентрация меди в эмбрейите обычно постепенно возрастает к периферии: если в центральной части ядра почки содержание CuO составляет около 1.4 мас. % (0.14 а.ф. Cu), то близ контакта с вокеленитом оно может достигать 5.1 мас. % (0.49 а.ф. Cu), что близко к формальной химической границе с вокеленитом). В обособлениях вокеленита, которые расположены ближе к эмбрейитовому ядру, возрастает содержание Pb, что хорошо видно на фотографиях в отражённых электронах (рис. 3). При детальном изучении удастся выявить неоднородность и внутри кристаллов вокеленита, которые слагают слои в зональных почках. По всей

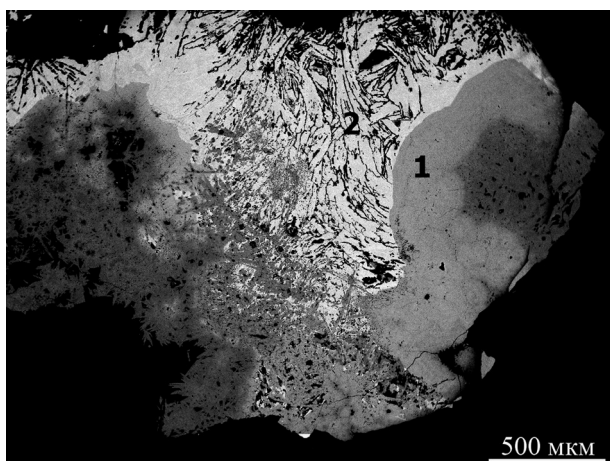


Рис. 3. Зональный эмбрейит-вокелениновый агрегат. 1 – вокеленит (в центральной части обогащён свинцом), 2 – эмбрейит. Обр. ST-2574. РЭМ-фото в отражённых электронах.

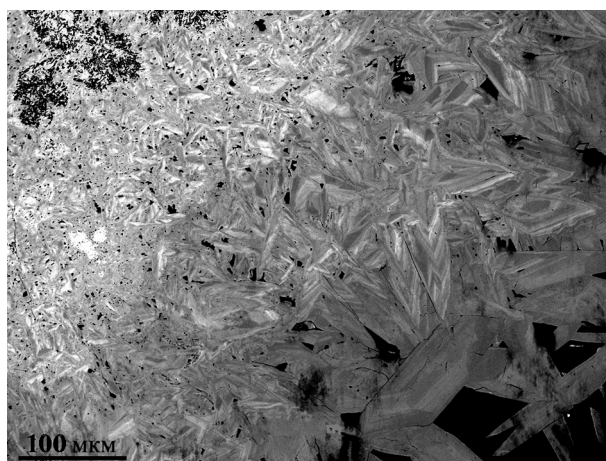


Рис. 4. Корки ритмично-зональных кристаллов вокеленита. Обр. ST-2574. РЭМ-фото в отражённых электронах.

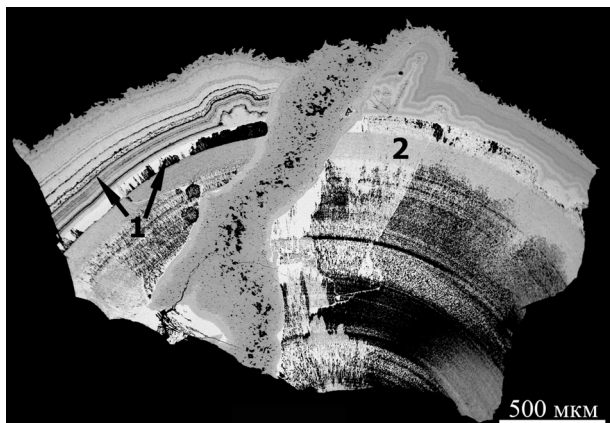


Рис. 5. Ритмично-зональная вокеленит-эмбрейитовая корка. 1 – эмбрейит, 2 – вокеленит. Обр. 10393. РЭМ-фото в отражённых электронах.

видимости, эта неоднородность обусловлена колебаниями содержаний Pb и Cu, что может указывать на многоактность процесса образования этих кристаллов (многократное изменение содержаний Pb и Cu в растворе?). Содержащий менее всего избыточного по сравнению с идеальной формулой Pb вокеленит наблюдается в краевой части почек, и зональность у его индивидов практически отсутствует (рис. 4).

В слоях эмбрейита, перемежающихся со слоями вокеленита (рис. 5), содержание меди в пересчёте на CuO колеблется в пределах 2.5–4.7 мас. % (0.24 – 0.46 а.ф. Cu), что в среднем больше, чем в минерале из ядер почек. При этом наиболее медистые разновидности приурочены также к краевой части эмбрейитовых зон, что может указывать на постепенное увеличение концентрации Cu в минералообразующей среде.

Случаев непосредственного контакта эмбрейита с форнаситом не наблюдалось, а максимальное содержание As_2O_5 в вокелените, ассоциирующего с эмбрейитом, не превышает 1.1 мас. %, что соответствует 0.07 а.ф. As.

Таким образом, в центральной части ритмично-зональных почек, состоящих из вокеленита и эмбрейита, находится наиболее низкомедистый эмбрейит, а к периферии содержание меди в нем растёт и достигает максимального, известного для эмбрейита. Интересно, что концентрация мышьяка в эмбрейите таких почек обычно выше, чем в находящемся в срастании с ним вокелените, несмотря на то, что в целом эмбрейит существенно беднее этим элементом по сравнению с вокеленитом.

Авторы благодарны Д.И. Белаковскому и И.С. Лыковой за содействие в работе с музейным материалом. Исследования выполнены при поддержке РФФ, грант 14-17-00048 (электронно-зондовые исследования) и РФФИ, грант 14-05-00276-а (полевые и камеральные минералогические работы).

Литература

Клеймёнов Д.А., Пеков И.В., Кононкова Н.Н., Вилисов В.А. Новые данные по изучению вокеленита, форнаситы и эмбрейита из зоны окисления Берёзовского золоторудного месторождения // Уральск. летняя минералог. школа 98. Екатеринбург, 1998. С. 143–147.

Клеймёнов Д.А., Пеков И.В., Ерохин Ю.В., Чуканов Н.В. Новые данные об эмбрейите из зоны окисления Берёзовского золоторудного месторождения // Минералогия Урала-2003. Т. 2. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. С. 171–177.

Чирва Е.Ф. Вокеленит из Берёзовского рудника на Урале // Учен. зап. Ленинград. гос. ун-та. Серия геол.-почв.-географ. 1935. Т. 1. С. 19–35.

Ханин Д.А., Пеков И.В., Пакунова А.В., Екименкова И.А., Янаскурт В.О. Природная система твердых растворов форнасит–вокеленит–эмбрейит и вариации химического состава этих минералов из месторождений Урала // Зап. РМО. 2015. № 4. С. 36–60.

Pisani F. Chromo-phosphate de plomb et de cuivre // Bull. Soc. Fr. Miner. Cristallogr. 1880. 3. P. 196.

Williams S.A. The naturally occurring chromates of lead // Bull. British Museum (Natural History). Mineralogy. 1974. V. 2. № 8. P. 337–419.