

УДК 553.32:549.76 (265.54)

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ МАРГАНЦЕВЫХ КОРОК ВУЛКАНА БЕЛЯЕВСКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

© 2020 г. Ю. Г. Волохин^{1,*}, академик РАН А. И. Ханчук¹, П. Е. Михайлик¹, Е. В. Михайлик¹

Поступило 28.01.2020 г.

После доработки 04.02.2020 г.

Принято к публикации 05.02.2020 г.

Установлен полигенный минеральный состав марганцевых корок вулкана Беляевского в Центральной котловине Японского моря. Кроме ранее описанных тодорокита, бернессита, манганита, пиролюзита и вернадита, в корках впервые установлены родохрозит, манганозит, квенселит, гетеролит, манганотанталит и тунгомелан. Среди рудных минералов в брекчиевых корках распространены магнетит, титаномагнетит, гематит, пирит, пирротин, галенит, монацит, церианит, бадделейт, пентландит, а в обломках манганита — серебро и многочисленные частицы медистого золота. В формировании минерального состава корок значительную роль, вероятно, играли поровые воды, вовлеченные в гидротермальный процесс, и органическое вещество (ОВ) миоцен-четвертичных кремнисто-глинистых толщ, служившее источником многих редких и благородных металлов и влиявшие на редокс-условия минералообразования.

Ключевые слова: марганцевые корки, марганцевые минералы, благородные металлы, вулкан Беляевского, Японское море

DOI: 10.31857/S2686739720040209

Вулкан Беляевского является местом нахождения молодых железомарганцевых образований (ЖМО) в центре глубоководной (до 3740 м) Центральной котловины Японского моря, связываемых с пострифтовой гидротермальной деятельностью [1–3]. Марганцевые корки подняты с глубины 2500–2200 м с привершинной части вулкана, где залегают на высокопористых оливин-плагноклазовых базальтах, возрастом 12.0 и 4.4 млн лет [1, 3], туфах, вулканокластических песчаниках и брекчиях. Здесь приводятся результаты дополнительного изучения состава Mn-корок вулкана Беляевского, полученные методами рентгеновской дифрактометрии (рис. 1), электронной микроскопии и микрозондового анализа в центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН. Исследовались образцы, драгированные в 36 рейсе нис “Первенец” (станция 2069) и любезно предоставленные сотрудниками ТОИ ДВО РАН. Съёмки порошковых препаратов Mn-корок проводились на рентгеновских дифрактометрах MiniFLEX-II и ДРОН-III, с Cu-K α излучением. Состав минералов определялся в аншлифах на микроанализаторе JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами

(“JEOL” Ltd., Япония) и энергодисперсионным спектрометром “INCA”x-sight (OXFORD Instruments, Англия). Напыление образцов углеродное, в отдельных случаях использовалось напыление золотом.

В многочисленных публикациях, формулы марганцевых минералов-оксидов представляются различным, иногда противоречивым, образом. В данной работе, в соответствии с представлениями [4], к вернадиту мы относим плохо упорядоченной минерал состава $MnO_2 \cdot nH_2O$, характеризующийся отражениями $d/n = \sim 2.4$ и ~ 1.4 Å на дифрактограммах, содержащий марганец в высшей степени окисления (Mn⁴⁺).

Бёрнессит рассматривается как филоманганат, на дифрактограммах которого присутствуют отражения в области 7.0–7.2 Å и 3.5–3.6 Å, а в составе в группе межслоевых катионов преобладает Na. Тодорокит характеризуется присутствием на дифрактограммах пиков в области 9.5–9.8 Å и представляет тектоманганат с наиболее крупными туннелями, что отличает его от других марганцевых минералов с туннельной структурой [4]. Эта особенность позволяет ему поглощать наиболее крупные катионы щелочных и щелочноземельных металлов, прежде всего Ba и Sr [4–6]. Ранее в Mn-корках станции 2069 были установлены распространенные в океанических ЖМО тодорокит, бёрнессит и вернадит [2, 7], а также манганит и

¹ Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного Отделения Российской академии
наук, Владивосток, Россия

*E-mail: yvolokhin@mail.ru

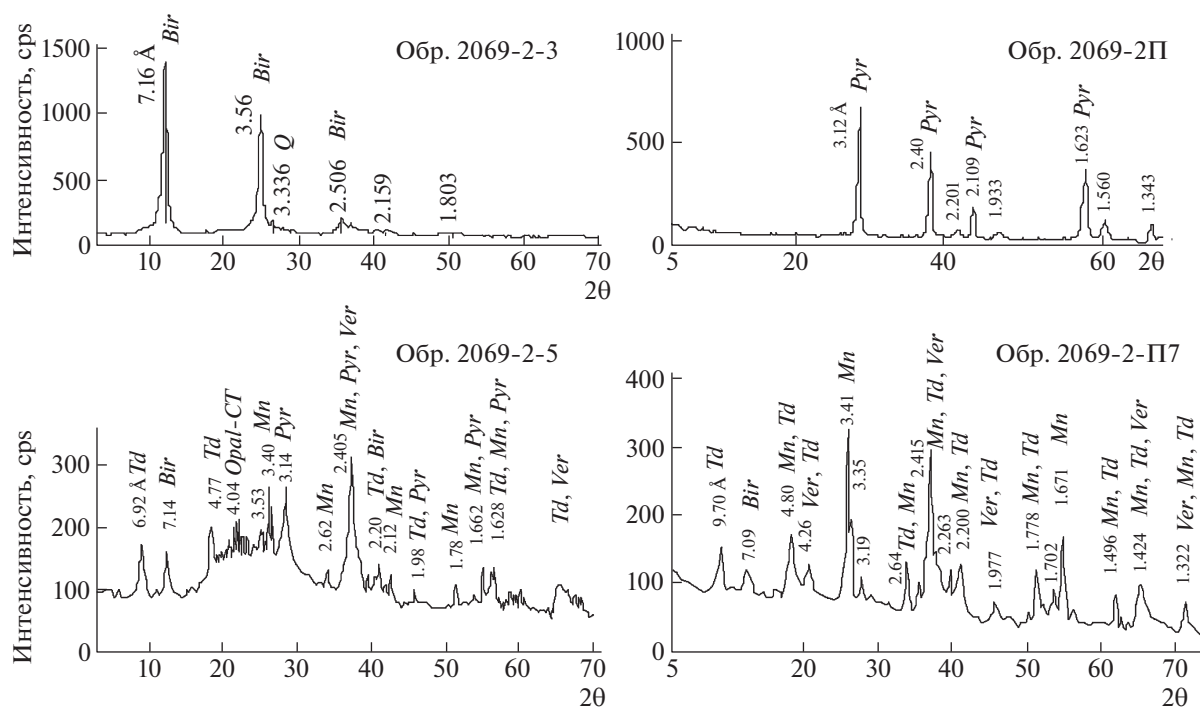


Рис. 1. Дифрактограммы марганцевых корок вулкана Беляевского. *Bir* – бёрнессит, *Td* – тодорокит, *Pyr* – пиролюзит, *Mn* – манганит, *Ver* – вернадит, *Q* – кварц, *Opal-CT* – кристобалит-тридимитовый опал.

пиролюзит [8]. Распределение РЗЭ и иттрия (REY) указывает на гидротермально-водородный источник вещества Mn-корок [9].

СТРОЕНИЕ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ МАРГАНЦЕВЫХ КОРОК

Корки, толщиной 1–8 см, содержат от 22 до 51% Mn и менее 1% Fe [1, 2, 10]. Они имеют смоляно-черный или стально-серый цвет и характеризуются разнообразием микроструктур (рис. 2). В корках присутствуют известковистые линзы с позднеплейстоценовыми фораминиферами [10] и мелкая кварцевая галька (до 1 см) ледового разнота, что позволяет считать возраст корок плиоцен-позднеплейстоценовым.

Для Mn-корок станции 2069 характерно слоистое и брекчиевое строение. Верхняя слоистая часть (2–3, до 5 мм) корок сложена бёрнесситом, а брекчиевая – сложной смесью тодорокита, бёрнессита, пиролюзита, манганита и вернадита, с примесью опала-КТ и биогенного опала-А диатомей (рис. 1). В брекчиевых корках присутствуют обломки корок, остатки частично замещенных оксигидроксидами Mn карбонатных и кремнистых биофоссилий и марганцевые микроконкреции (рис. 2а, б), заключенные в бёрнесситовый цемент или в глинисто-известково-марганцевый матрикс. В микроконкрециях установлены бёр-

несситовое ядро и тодорокитовая ламинарно-слоистая оболочка.

В других корках наблюдаются слои и линзы колломорфного облика, создаваемого срастанием причудливых микроглобул (рис. 2б). Темные ядра микроглобул максимально обогащены Na, Ca и Ba, содержат больше молекулярной воды и около 1/3 марганца низшей степени окисленности (Mn^{2+}). Хорошо раскристаллизованные светлые оболочки микроглобул, напротив, почти не содержат воды, щелочных и щелочноземельных элементов. Отношение O/Mn в них равно 2 : 1 и преобладает Mn^{4+} . Различия химического и минерального состава ядер и оболочек микроконкреций и микроглобул свидетельствуют о смене субокислительных условий осаждения Mn при их зарождении, окислительными – при формировании их светлых оболочек.

В брекчиевых корках присутствуют обломки манганита и гидроманганита с кристифицированным обрастанием бёрнесситом (рис. 2в, ж), и зерна родохрозита (рис. 2г). Для манганита характерен удлиненно-призматический габитус кристаллов, присутствие двойников срастания и крестовидных двойников (рис. 2в, з). В зернах родохрозита по трещинам спайности развиваются бёрнессит и манганит (рис. 2г). Состав родохрозита ($Mn_{0.71-0.89}Na_{0.05-0.06}Mg_{0.05-0.06}K_{0.02-0.03}Ca_{0.01-0.02}Ba_{0.01-0.02}Sr_{0.01}CO_3$) характеризуется крайне

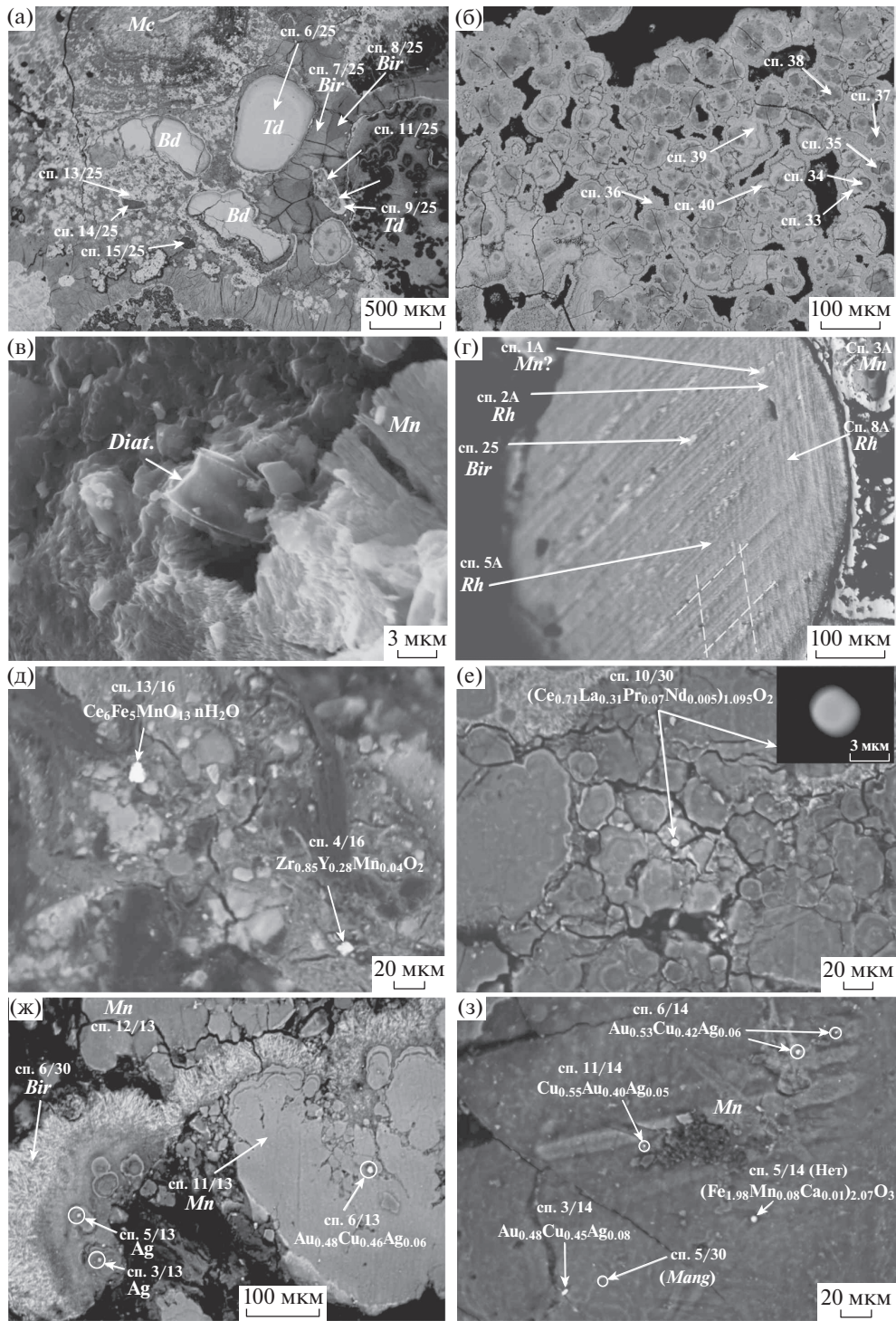


Рис. 2. Микроструктуры марганцевых корок вулкана Беляевского. а – корка 2069-П4, с концентрически-зональными марганцевыми микроконкрециями (*Mc*) и раковинным биодетритом (*Bd*), замещенным тодорokitом (сп. 6/25), погруженными в бёрнесситовый цемент (сп. 7/25 и 8/25), с трещинами обезвоживания марганцевого геля в нижней и правой части фото. б – коллоидная структура Mn-корки 2069-2-5. в – манганит (*Mn*) в вернадит-бёрнессит-манганитовой корке 2069-2/2а, с реликтами диатомей (*Diat.*). г – эллиптическое зерно родохрозита (*Rh*) в корке 2069-2-5, замещаемого по трещинам спайности (подчеркнуты пунктиром) манганитом (*Mn*) и бёрнесситом (*Bir*). д – железо-цериевый оксид и иттриевый бадделейт в марганцевом матриксе корки 2069-2/2а. е – церианит в корке 2069-2/2а. ж – манганит (сп. 12/13 и 11/13), с кристифицированным обрастанием зерен бёрнесситом (сп. 6/30), кристаллами серебра и медистого золота в Mn-корке 2069-2/2а. з – медистое золото и гематит (*Hem*) в манганозит-манганитовом зерне из брекчиевого слоя корки 2069-2/2а.

низкими содержаниями Ca и Fe, что отличает его от вскрытых бурением в плиоценовых-плейстоценовых отложениях трога Кита-Ямато в Японском море, где они более железистые и кальциевые ($\text{Mn}_{0.68-0.74}\text{Ca}_{0.21-0.25}\text{Mg}_{0.03-0.05}\text{Fe}_{0.01-0.02}\text{CO}_3$) [11].

В Mn-корках вулкана Беляевского крайне редко встречаются ферробёрнессит ($\text{Na}_{0.81}\text{Si}_{0.38}\text{Al}_{0.38}\text{Mg}_{0.29}\text{Ca}_{0.18}\text{K}_{0.11}$) $_{2.15}\text{Fe}_{2.32}^{3+}\text{Mn}_{3.01}^{4+}\text{O}_{14} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и хромистые оксиды марганца состава ($\text{Na}_{0.60}\text{Ca}_{0.38}\text{K}_{0.16}$) $_{1.14}\text{Mn}_{4.88}\text{Cr}_{2.49}\text{Mg}_{0.41}\text{O}_{14} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Атомные отношения O:Mn в породообразующих марганцевых минералах варьируют в пределах от 0.84 до 2.4, что отражает значительные вариации степени окисленности Mn и минеральное разнообразие слагающих Mn-корки оксигидроксидов марганца.

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Марганцевые минералы-аксессуары выделяются на фоне заключающего их матрикса аномально высокими содержаниями Cu, Zn, Sn, Pb и W. Их состав близок формульным выражениям квенселита $\text{PbMnO}_2[\text{OH}]$, гетеролита ZnMn_2O_4 , гидрогетеролита $\text{ZnMn}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, манганотанталита MnTa_2O_6 и тунгомелана ($\text{Mn, W}\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (табл. 1). Из других рудных аксессуариев распространены магнетит, титаномагнетит, гематит, титаногематит и яacobсит. Микросферулы (3–6 мкм) гематита и магнетита содержатся в зернах гидроманганита и в бёрнесситовом цементе, и часто представляют зародыши более крупных марганцевых сферул. Они содержат до 2% тербия и, вероятно, представляли собой вулканическую пыль, поступающую в высокопористый диатомовый ил до его пропитки и цементации оксигидроксидами Mn. Установлены оксиды Pb, Cu и Zn, близкие по составу массивоту, тенориту и тунгомелану (табл. 1), мелкие зерна сульфидов, среди которых обычны пирротин, пирит, сфалерит, галенит и халькопирит, реже, пентландит, а также интерметаллиды Cu_5Zn_3 , самородный цинк Zn_{11}Fe , церианит (рис. 2е), железо-цериевые гидроксиды (рис. 2д) и монацит. Иттрий присутствует только в оксидах циркония (табл. 1). Распространены прожилки барита.

В брекчиевой корке 2069-2/2а впервые установлено медистое золото (рис. 2ж, з; табл. 1). Размер частиц варьирует от долей до нескольких микрон, но встречаются крупные кристаллы (до 10–12 мкм). Золото заключено в крупных обломочных зернах (до 2 мм) манганита. В изученных образцах корок присутствуют Fe, Ni, Pb и Ag.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вопреки распространенному мнению о простом тодорокит–бёрнессит–вернадитовом-составе гидротермальных ЖМО в современных морских бассейнах, полученные данные свидетельствуют о разнообразии марганцевых минералов. В них определены манганозит, манганит, гидроманганит и марганцевые аксессуары: квенселит, гетеролит, гидрогетеролит, креднерит и манганотанталит. Последние, вероятно, являются побочным продуктом диагенетической кристаллизации оксигидроксидов Mn в местах локального обогащения металлами: Pb, Zn, Cu и W.

Минеральные ассоциации в Mn-корках контрастны. Вместе с пиролюзитом и вернадитом, образующихся в высокоокислительных условиях, и манганитом, кристаллизующимся в субокислительных условиях, присутствуют минералы, кристаллизующиеся в восстановительной среде (родохрозит, сульфиды металлов, интерметаллиды, самородные элементы). Генезис тодорокита неоднозначен. В морских марганцевых конкрециях он формируется в раннем диагенезе в щелочной среде при топотактической трансформации термодинамически нестабильного вернадита или триклинного бёрнессита [12]. В изученных образцах корок тодорокит – также диагенетический минерал, а первоначально отлагались водонасыщенные, обогащенные щелочами (Na, K) и щелочно-земельными элементами (Mg, Ca, Ba) аморфные оксигидроксиды Mn. Образованию родохрозита способствовали восстановительные условия, создаваемые в микроочагах при бактериальной деструкции ОВ планктонных или бентосных организмов. По альтернативной версии, он мог быть вынесен вместе с другим материалом из отложенных осадочного чехла Центральной котловины при вулканическом извержении. Причиной восстановительных условий кристаллизации сульфидов металлов и интерметаллических соединений могли быть вовлечение в гидротермальный процесс поровых вод и ОВ миоцен-четвертичных глинисто-диатомовых толщ Японского моря, содержащих пачки (3–5 м) углеродистых пород (до 8.5% $\text{C}_{\text{орг}}$) [13, 14]. Биокремнистые углеродистые породы и фракции ОВ часто аномально обогащены S, редкими (Cu, Zn, Ba, V, Ni, Mo, W) и благородными (Ag, Au, Pd, Pt) металлами [15].

Часть минералов, по-видимому, имеет аллохтонную природу (магнетит, гематит, монацит). Кристаллизация пиролюзита, бадделеита и церианита, вероятно, происходила при высоком окислительном потенциале на завершающей стадии образования корок, в условиях продолжительной кислородной вентиляции придонных вод.

Табл. 1. Химический состав минералов марганцевых корок вулкана Беляевского

| % | O | Na | Mg | Si | S | Cl | K | Ca | Ti | Mn | Co | Zn | Sr | Ba | W | Pb | Сумма | Марганцевые оксидгидроксиды |
|------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--|
| Вес. | 31.29 | 1.35 | 1.16 | | | | 1.34 | 0.51 | | 50.70 | | | 0.49 | 4.05 | | | 90.89 | $\text{Na}_{0,36}\text{Mg}_{0,29}\text{K}_{0,21}\text{Ba}_{0,18}\text{Ca}_{0,08}\text{Sr}_{0,03}\text{Mn}_{0,18}^{2+}\text{Mn}_{0,18}^{4+}\text{O}_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ <i>Тодорокит</i> |
| Ат. | 63.77 | 1.92 | 1.55 | | | | 1.12 | 0.42 | | 30.09 | | | 0.18 | 0.96 | | | | |
| Вес. | 29.83 | 3.63 | 0.82 | | | 0.39 | 1.33 | 0.85 | | 47.86 | | | | | | | 84.72 | $(\text{Na}_{1,10}\text{K}_{0,26}\text{Mg}_{0,25}\text{Ca}_{0,16})_{1,77}\text{Mn}_{0,17}^{2+}\text{Mn}_{0,35}\text{O}_{14} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ <i>Бернессит</i> |
| Ат. | 62.29 | 5.27 | 1.12 | | | 0.37 | 1.14 | 0.71 | | 29.10 | | | | | | | | |
| Вес. | 37.82 | 4.39 | 1.88 | | 0.27 | 0.32 | 1.02 | 1.47 | | 48.17 | | | | | | | 95.34 | $(\text{Na}_{0,16}\text{Mg}_{0,05}\text{Ca}_{0,03}\text{K}_{0,02})_{0,26}(\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{4+})_{0,75}(\text{O}, \text{OH})_2$ <i>Манганит</i> |
| Ат. | 65.86 | 5.32 | 2.15 | | 0.23 | 0.26 | 0.73 | 1.02 | | 24.43 | | | | | | | | |
| Вес. | 17.79 | 2.28 | 1.81 | 0.20 | 0.23 | 0.77 | 1.14 | 2.47 | | 58.28 | | | | | | | 84.97 | $(\text{Na}_{0,14}\text{Mg}_{0,12}\text{Ca}_{0,11}\text{K}_{0,05}\text{Si}_{0,013})_{0,43}\text{Mn}_{1,96}^{2+}\text{O}_{2,00} \cdot \text{H}_2\text{O}$ <i>Манганозит</i> |
| Ат. | 44.95 | 4.02 | 3.01 | 0.29 | 0.29 | 0.87 | 1.18 | 2.50 | | 42.89 | | | | | | | | |
| Вес. | 31.56 | 1.72 | 1.42 | | 1.51 | 0.45 | 0.94 | 0.92 | | 39.55 | | | | | | 39.55 | 93.72 | $(\text{Na}_{0,11}\text{Mg}_{0,09}\text{K}_{0,04}\text{Ca}_{0,03})\text{Pb}_{1,09}\text{Mn}_{1,09}\text{O}_2(\text{OH}, \text{Cl})$ <i>Квесселит</i> |
| Ат. | 65.58 | 2.49 | 1.93 | | 1.57 | 0.42 | 0.80 | 0.76 | | 23.93 | | | | | | 23.93 | | |
| Вес. | 31.24 | 1.47 | | | 0.59 | 0.22 | 0.79 | 1.00 | | 31.54 | | 29.81 | | | | | 96.65 | $\text{Zn}_{0,93}(\text{Mn}_{1,18}\text{Mg}_{0,12}\text{Ca}_{0,05}\text{K}_{0,04})_{1,39}\text{O}_4\text{Cl}_{0,01}\text{S}_{0,04}$ <i>Гетеролит</i> |
| Ат. | 62.73 | 1.94 | | | 0.59 | 0.20 | 0.65 | 0.80 | | 18.44 | | 14.65 | | | | | | |
| Вес. | 11.47 | 0.55 | | | | | 0.27 | 0.81 | 1.53 | 12.08 | 1.68 | | | | 62.98 | | 91.36 | $(\text{Mn}_{1,23}\text{Ti}_{0,18}\text{Co}_{0,16}\text{Na}_{0,13}\text{Ca}_{0,11}\text{K}_{0,04})_{1,85}\text{W}_{1,91}\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ <i>Тунсомелан</i> |
| Ат. | 51.55 | 1.71 | | | | | 0.50 | 1.45 | 2.29 | 15.82 | 2.05 | | | 24.64 | | | | |
| % | O | Na | Al | Si | S | Cl | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | Ag | Sn | Tb | Au | Pb | Сумма | Рудные минералы-аксессуары |
| Вес. | 25.85 | | | | | | 2.51 | 68.44 | | | | | | 1.87 | | | 98.68 | $(\text{Fe}_{3,03}\text{Mn}_{0,11}\text{Tb}_{0,03})_{3,17}\text{O}_4$ <i>Магнетит</i> |
| Ат. | 55.74 | | | | | | 1.58 | 42.28 | | | | | | 0.41 | | | | |
| Вес. | 6.70 | | 0.22 | | | | 5.11 | | | | | | | | | 88.51 | 100.54 | $\text{Pb}_{1,02}\text{Mn}_{0,22}\text{Al}_{0,02}\text{O}$ <i>Массикот</i> |
| Ат. | 44.20 | | 0.87 | | | | 9.82 | | | | | | | | | 45.10 | | |
| Вес. | 14.59 | | | | 0.82 | 3.90 | 5.55 | | | 43.77 | | | 29.44 | | | | 98.07 | $(\text{Cu}_{1,00}\text{Sn}_{0,36}\text{Mn}_{0,15})_{1,51}(\text{O}_{1,32}\text{Cl}_{0,16}\text{S}_{0,04})_{1,52}$ <i>Тенорит</i> |
| Ат. | 43.73 | | | | 1.23 | 5.28 | 4.84 | | | 33.03 | | | 11.89 | | | | | |
| Вес. | | | | | 39.40 | | 2.78 | 56.66 | | | | | | | | | 98.84 | $(\text{Fe}_{0,83}\text{Mn}_{0,04})\text{S}$ <i>Пирротин</i> |
| Ат. | | | | | 53.56 | | 2.21 | 44.23 | | | | | | | | | | |
| Вес. | | 0.36 | | | 53.71 | | 2.42 | 44.31 | | | | | | | | | 100.81 | $(\text{Fe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{Na}_{0,02})\text{S}_2$ <i>Пирит</i> |
| Ат. | | 0.63 | | | 66.25 | | 1.75 | 31.38 | | | | | | | | | | |
| Вес. | | | | | 35.36 | | 3.43 | 14.78 | | | 46.58 | | | | | | 100.15 | $(\text{Zn}_{0,65}\text{Fe}_{0,24}\text{Mn}_{0,06})\text{S}$ <i>Сфалерит</i> |
| Ат. | | | | | 51.47 | | 2.92 | 12.35 | | | 33.26 | | | | | | | |
| Вес. | 8.69 | | 0.40 | 0.63 | 32.11 | | 3.32 | 26.44 | 23.82 | | | | | | | | 95.40 | $(\text{Fe}_{0,47}\text{Ni}_{0,40})\text{S}$ <i>Пентландит, матрикс: (Mn, Al, Si)_{3,87}O_{5,6}</i> |
| Ат. | 21.53 | | 0.58 | 0.89 | 39.72 | | 2.40 | 18.78 | 16.09 | | | | | | | | | |
| Вес. | 1.29 | | | | 4.87 | | 5.48 | | | 57.65 | 34.95 | | | | | | 99.96 | $\text{Cu}_{5,09}\text{Zn}_3$ <i>Матрикс: (Mn_{1,1}O)</i> |
| Ат. | 4.98 | | | | 5.48 | | | | | 56.11 | 33.06 | | | | | | | |
| Вес. | | | | | | | | | | 21.16 | | 8.11 | | 70.36 | | | 99.63 | $\text{Au}_{0,47}\text{Cu}_{0,43}\text{Ag}_{0,10}$ <i>Медистое золото</i> |
| Ат. | | | | | | | | | | 43.50 | | 9.83 | | 46.67 | | | | |
| % | O | Na | Al | Si | S | Ca | Mn | Fe | Y | Zr | La | Ce | Pr | Nd | Hf | Th | Сумма | Оксиды Ce, Y и Zr |
| Вес. | 16.85 | | | | | | | | | | 22.75 | 52.04 | 4.91 | 0.37 | | | 96.93 | $(\text{Ce}_{0,71}\text{La}_{0,31}\text{Pr}_{0,07}\text{Nd}_{0,005})\text{O}_2$ <i>Церианит</i> |
| Ат. | 64.78 | | | | | | | | | | 10.07 | 22.84 | 2.14 | 0.16 | | | | |
| Вес. | 25.95 | | | | | 0.23 | 5.05 | | 1.91 | 60.44 | | | | | 1.49 | | 95.07 | $(\text{Zr}_{0,82}\text{Mn}_{0,11}\text{Y}_{0,03}\text{Hf}_{0,01}\text{Ca}_{0,007})_{0,98}\text{O}_2$ <i>Бадделит</i> |
| Ат. | 67.25 | | | | 0.23 | 3.81 | 3.81 | | 0.89 | 27.47 | | | | | 0.35 | | | |
| Вес. | 29.47 | | | | | | | 15.96 | 51.20 | | | | | | 1.25 | | 97.87 | $(\text{Zr}_{0,61}\text{Y}_{0,19}\text{Hf}_{0,01})\text{O}_2$ |
| Ат. | 71.12 | | | | | | | 6.93 | 21.67 | | | | | | 0.27 | | | |
| Вес. | 23.39 | | | | | 1.66 | 1.66 | 18.37 | 55.42 | | | | | | 1.12 | | 99.95 | $(\text{Zr}_{0,83}\text{Y}_{0,28}\text{Mn}_{0,04}\text{Hf}_{0,01})\text{O}_2$ |
| Ат. | 63.22 | | | | 1.30 | | 1.30 | 8.94 | 26.27 | | | | | | 0.27 | | | |

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 18–17–00015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахова Н.В., Колесник О.Н., Съедин В.Т. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. Вып. 16. С. 152–166.
2. Штеренберг Л.Е., Александрова В.А., Габлина И.Ф. и др. // Тихоокеан. геология. 1986. № 1. С. 125–128.
3. Колесник О.Н., Съедин В.Т., Колесник А.Н. и др. // ДАН. 2019. Т. 487. № 1. С. 73–77.
4. Чухров Ф.В., Горшков А.И., Дриц В.А. Гипергенные окислы марганца. М.: Наука, 1989. 208 с.
5. Костов И. Минералогия. М.: МИР, 1971. 584 с.
6. Андрущенко П.Ф. // Железо-марганцевые конкреции Тихого океана. М.: Наука, 1976. С. 123–167.
7. Горшков А.И., Березовская В.В., Батулин Г.Н. и др. // Океанология. 1992. Т. 32. № 3. С. 542–549.
8. Mikhailik P.E. // Water-Rock Interaction. Bullen & Wang (Eds). London: Taylor & Francis Group. 2007. P. 523–526.
9. Михайлик П.Е., Михайлик Е.В., Зарубина Н.В. и др. // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33. № 5. С. 3–16.
10. Скорнякова Н.С., Батулин Г.Н., Гурвич Е.Г. и др. // ДАН СССР. 1987. Т. 293. № 2. С. 430–434.
11. Johnson J.E., Webb S.M., Ma C., et al. // Geochim. Cosmochim. Acta. 2016. V. 173. P. 210–231.
12. Bodeř S., Manseau A., Geoffroy N., et al. // Geochim. Cosmochim. Acta. 2007. V. 71. P. 5698–5716.
13. Föllmi K.B., Cramp A., Föllmi K.B., et al. // Proc. ODP, Sci. Results. 1992. V. 127/128. Pt. I. P. 599–576.
14. Stein R., Stax R. // Proc. ODP, Sci. Results, 1992. V. 127/128. Pt. I. P. 423–437.
15. Волохин Ю.Г., Карабцов А.А. // Литол. и полезн. ископаемые, 2016. № 5. С. 465–484.

MINERAL COMPOSITION OF MANGANESE CRUSTS FROM BELYAEVSKY VOLCANO (SEA OF JAPAN)

Yu. G. Volokhin^{a, #}, Academician of the RAS A. I. Khanchuk^a, P. E. Mikhailik^a, and E. V. Mikhailik^a

^a Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

[#] E-mail: yvolokhin@mail.ru

There were recognized the polygenic mineral composition of Mn-crusts from Belyaevsky Volcano at the Central Basin of the Sea of Japan. Beside previously described todorokite, birnessite, manganite, pyrolusite, and vernadite we have firstly determined rhodochrosite, manganosite, quenselite, heterolite, manganotantalite, and tungomelane. Among other accessory minerals crusts contain magnetite, titanomagnetite, hematite, pyrite, pyrrhotite, galena, monazite, cerianite, baddeleyite, pentlandite, and many particles of cuprous gold in detrital grains of manganite. We suggest a significant role of pore water and organic matter of Miocene-Quaternary clayey-diatomaceous sediments those served as the source of many trace and noble metals in Mn-crusts and influent on redox of mineral forming.

Keywords: manganese crusts, manganese minerals, noble metals, Belyaevsky Volcano, Sea of Japan