

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КАРБОНАТОВ И СУЛЬФИДОВ ТРУБЧАТЫХ ПОСТРОЕК ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО ТРИАСА (ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА)

Лысенко В.И.<sup>1</sup>, Котляров В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в Севастополе*

*niagara\_sev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт минералогии УрО РАН, Миасс, Ильменский заповедник*

*100126@mineralogy.ru*

Исследованиям минералого-геохимических особенностей современных сульфидных построек «чёрных курильщиков» гидротермальных полей Мирового океана и палеозойских трубчатых тел сульфидных месторождений [Лисицын и др., 1990; Масленников, 2006] посвящено огромное количество работ. По последним данным, сульфидные трубы в разных тектонических структурах океанов и месторождений различаются минеральным составом, зональностью строения и геохимией. Общими признаками для них являются: внешняя морфология, сульфидный состав материала построек с незначительной примесью кварца, барита и ангидрита, а также нахождение вблизи гидротермальных полей [Лисицын и др., 1990; Масленников, 2006]. В настоящей статье приводятся данные исследования минералогии трубчатых строений, найденных автором на поверхности лавового палеопотока андезитов в породах верхнего триаса Горного Крыма. Находки имеют большое морфологическое сходство с современными сульфидными трубами «чёрных курильщиков», но отличаются от них минеральным составом и размерами [Лысенко, 2017]. Обнаруженные трубчатые строения позволяют пересмотреть историю развития вулканизма в Горном Крыму.

Целью данной работы является изучение минералогии сульфидов и карбонатов из трубчатых построек на поверхности лавовых палеопотоков для познания их генезиса.

Магматические тела подводных лавовых палеопотоков с описанными находками сульфидно-карбонатных труб находятся в верхней части южного макросклона главной гряды Крымских гор над поселком Тессели [Лысенко, 2017]. Согласно полевым исследованиям автора, большинство сульфидно-карбонатных построек имеют хорошо выраженное направление роста, перпендикулярное поверхности лав и слоистости вмещающей толщи. В основном они имеют вид вертикальных или слабоизогнутых цилиндрических тел длиной до 80 см и диаметром до 10 см [Лысенко, 2017]. Сульфидно-карбонатные постройки имеют довольно резкие контакты с эффузивными и вмещающими породами таврической серии.

По всей длине на срезах сульфидно-карбонатных построек просматривается концентрическая зональность, которая подчеркивается цветовой гаммой карбонатов и сульфидов. Зоны характеризуются прерывистым строением и непостоянной мощностью, чем отличаются от строения концентрических конкреций и стяжений [Лысенко, 2017]. Элементы концентрической вертикальной зональности нарушаются в местах перегиба и раздувов трубчатых тел. С некоторой условностью в поперечном и продольном разрезах сульфидно-карбонатной палеопостройки можно выделить следующие зоны: центральную; промежуточную; боковую и зону бактериального обрастания [Лысенко, 2017].

В центральной части построек находится полоска осветления с прерывистой сульфидной минерализацией. Возможно, что это – «флюидный канал» (рис. 1). В продольном разрезе он имеет волнистое неровное строение и диаметр от 5 до 200 мм [Лысенко, 2017]. «Флюидальный канал» сложен крупно- и средне кристаллическим чёрно-коричневым или зеленоватым карбонатом. В нём встречаются высыпки мелких кристаллов галенита, сфалерита, халькопирита, пирита и псевдоморфозы марказита по пирротину (рис. 2). Часто сульфидные раздувы в центральной части имеют размеры до 2.0 см и представлены

сростками крупнокристаллического пирита. В пространстве между его кристаллами встречаются вкрапленники галенита, халькопирита, сфалерита, пирротина и марказита. Реже встречаются пятна и прожилки белого цвета хорошо раскристаллизованного накрита, образование которого обычно связано с гидротермальными процессами. Границы центральной зоны с промежуточной довольно неровные и расплывчатые. Промежуточная зона имеет более светлую окраску и сложена главным образом сферолитами карбонатов, а также редкими включениями сфалерита, халькопирита, ангидрита, барита, кварца и пирита. Сферолиты карбонатов предположительно образованы сообществом метанотрофных прокариот и архей [Лысенко, 2017]. Кроме этого, в этой зоне встречаются обломки туфов андезитов, пепловый материал вулканического стекла и многочисленные трубочки червей, выполненные карбонатом и сульфидами. Контакты промежуточной зоны с боковой очень резкие и прямолинейные.

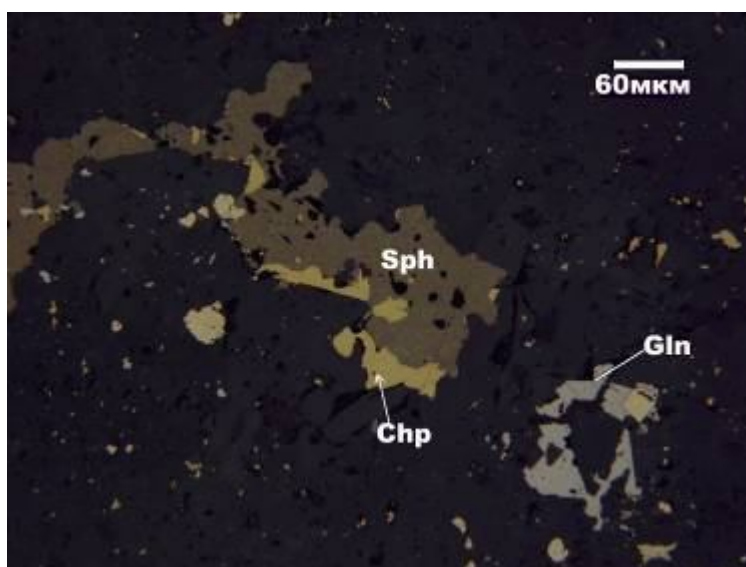


Рис. 1. Галенит (Gln), халькопирит (Chp) и сфалерит (Shp) в зоне «сульфидного канала».

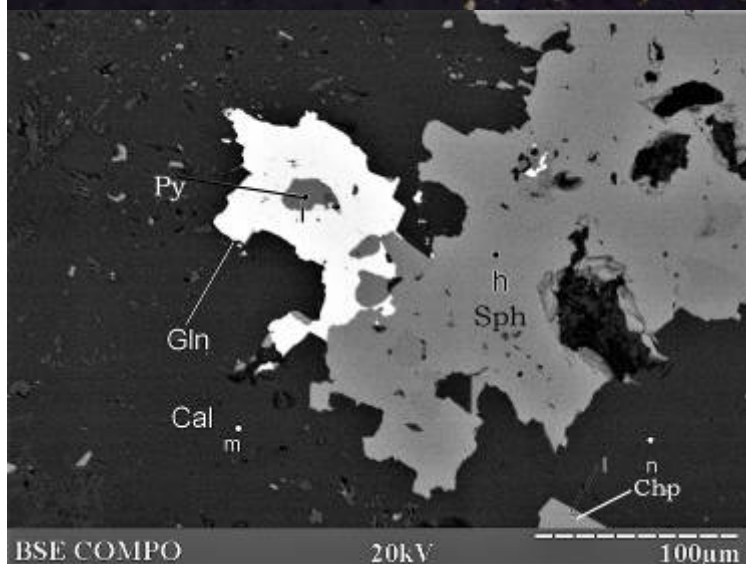


Рис. 2. Сульфидная минерализация галенита (Gln), халькопирита (Chp), сфалерита (Shp) и пирита (Py) в центральной зоне сульфидно-карбонатной постройки.

Боковая зона сложена крупнокристаллическим черно-коричневым, реже серовато-зеленым полупрозрачным карбонатом. Её мощность в разных местах постройки меняется от 2.0 до 20.0 мм. В некоторых частях наблюдаются полосы осветления, параллельные боковой поверхности. Сульфидная минерализация в этой зоне представлена редкой вкрапленностью пирита и псевдоморфозами марказита по пирротину. Её граница с внешним слоем бактериального обрастания довольно резкая и волнистая. Зона бактериального обрастания часто состоит из нескольких слоев, разделенных примазками глинистого материала, и имеют общую мощность от 2.0 до 25.0 мм. Серые и черно-коричневые сферолиты

карбоната составляют 40-60% общего объёма зоны обрастания [Лысенко, 2017]. Они являются цементом пеплового и алевролитового материала, который принимает участие в строении этой зоны.

Изучение карбонатов и сульфидов было продолжено с помощью растрового электронного микроскопа РЗММА-202М, снабжённого рентгеновским энергодисперсионным спектрометром, а исследование элементов примесей в сульфидах определялись методом лазерной абляции на масс-спектрометре Agilent 7700х с индуктивно связанной плазмой (LA-ICP-MS). Данные работы выполнялись в Институте минералогии УрО РАН, г. Миасс.

Выше отмечалось, что карбонаты хорошо различаются по цвету и морфологии кристаллов. Цветовая окраска связана с наличием в них битумов и хлоритов, что подтверждается растворением карбонатов в кислоте. В центральной зоне основная часть карбонатов представлена кальцитом с примесью Mn, Fe и Sr. Их приведенные формулы по данным анализов можно изобразить в виде  $(Ca_{0,95}Mn_{0,04}Fe_{0,01})CO_3$  и  $(Ca_{0,87}Mn_{0,10}Fe_{0,02}Sr_{0,01})CO_3$ . Повышенные содержания марганца (2.2-5.2 %) и железа (0.51-0.97) указывают, что формирование карбонатных построек происходило с участием глубинных флюидов. Высокие концентрации стронция (0.11%) в сферолитовом карбонатном материале связаны с процессами бактериального хемосинтеза. По результатам анализов в флюидном канале выявлены отдельные кристаллы анкерита  $[Ca_{0,95}(Fe_{0,67}Mg_{0,24}Mn_{0,09})CO_3$  и  $Ca_{0,95}(Fe_{0,67}Mg_{0,24}Mn_{0,09})CO_3]$ . На связь образования анкерита с гидротермальными процессами указывают высокие содержания Mn и Fe. находку церуссита вблизи галенита можно было бы объяснить выветриванием материала постройки, но при этом необходимо отметить что, отсутствуют следы окисления других сульфидов в образце и довольно высокие содержания меди (2.9 %) в минерале.

В крымских сульфидно-карбонатных постройках не встречаются выделения колломорфного и фромбоидального пирита. Обычно он представлен в виде отдельных кристаллов или их сростков, имеющих кубический и пентагондодекаэдрический габитус. Довольно часто верхняя часть концовки флюидных каналов запечатана крупными кристаллами пирита кубической формы. При травлении кислотой просматривается зональность пирита. Отдельные кристаллы пирита характеризуются повышенными содержаниями никеля (0.76-1.17%). По данным определения методом LA-ICP-MS для пирита характерны высокие содержания следующих элементов примесей: As (166-2870 г/т), Pb (39.5-303 г/т), Se (12.1-127.5 г/т), Sb (7.45-49.7 г/т), Te (5.4-23.0 г/т), Mn (5.6-25.1 г/т), Ag (0.53- 2.08 г/т) и Bi (0.067-2.27 г/т). По результатам геохимического опробования таблитчатый марказит резко отличается от пирита более повышенными концентрациями As (1032-1640 г/т), Se (50.3-345.5 г/т), Zn (0.2-302.5 г/т), Sb (119.2-247.3 г/т), Cu (6.7-147.3 г/т), Pb (28.5-121 г/т), Te (11.2-75.3 г/т), Ni (0.08-120.0 г/т), Ge (1.6-2.9 г/т), Bi (0.47-2.78 г/т) Ag (0.83- 2.28 г/т) и Au (0.058-0.217 г/т).

Сфалерит образует крупные выделения в центральной и боковых зонах, а также его мелкие пятна встречаются в крупных кристаллах пирита. Его выделения покрыты тонкой эмульсионной плёнкой халькопирита (халькопиритовая болезнь). Поэтому анализы сфалерита характеризуются повышенными содержаниями Fe (10.34-12.21%) и Cu (11.09-13.56%), а его приведённая формула  $Zn_{0,69}Fe_{0,17}Cu_{0,15}S_{0,98}$ . В нём отмечаются повышенные концентрации Cd (500.1-565.2 г/т), As (1.8-469.3 г/т), Hg (81.1-268.3 г/т), Pb (117.2-232.3 г/т), Co (156.1-186.5 г/т), Sn (12.2-105.3 г/т), Se (59.6-100.8 г/т), In (71.9-99.2 г/т), Ag (15.4-26.0 г/т) и Au (0.052-0.099 г/т). Высокие содержания ртути указывают на средние температуры гидротермальных процессов.

Галенит и халькопирит встречаются в виде мелкой вкрапленности совместно со сфалеритом, а реже с пиритом. Значительная их часть находится в центральной зоне вблизи флюидного канала. По результатам анализов, выполненных на растровом электронном микроскопе РЗММА -202М, состав халькопирита: Cu (34.31-34.39%), Fe (30.48-31.06), S (34.71-34.9), а галенита – Pb (86.22-87.79%), S (12.03-13.21%). Данные результаты почти не отличаются от теоретических содержаний этих элементов в минералах.

Отдельные кристаллы псевдоморфоз марказита по пирротину и их сростки довольно часто встречаются в центральных и боковых зонах сульфидно-карбонатных построек (рис. 3). Обычно они имеют удлиненную призматическую форму размером до 10 мм. Довольно часто эти псевдоморфозы встречаются совместно с пепловым материалом вулканического стекла. Возможно поэтому, марказит, образующий псевдоморфозы по пирротину, содержит повышенный спектр химических элементов с высокими концентрациями: As (2362-4580 г/т), Mn (5.3-1251.3 г/т), Ni (151.2-1141.1 г/т), Cu (229.5-1128.2 г/т), Co (62.1-739.2 г/т), Zn (18.7-407.5 г/т), Sb (111.4-230.6 г/т), Pb (180.2-177.5 г/т), Te (8.9-129.0 г/т), Se (67.7-125.4 г/т), Ag (11.8-94.0 г/т), Bi (8.5-37.6 г/т), Mo (0.8-11.6 г/т), Au (1.35-10.81 г/т), Tl (0.7-4.93 г/т) и Ge (1.97-2.46 г/т). В нём повышенные содержания представлены среднетемпературной (Pb, Ag, Au, Sb, As) и высокотемпературным (Se, Sn, Bi, Te, Ni, Co) ассоциациям, что возможно связано с процессами охлаждения лавового потока. По данным анализов имеется некоторая взаимосвязь между содержанием золота с серебром, селеном, сурьмой и ртутью. Возможно, эта минерализация связана с глубинными гидротермальными процессами.



Рис. 3. Сростки кристаллов псевдоморфоз марказита по пирротину (PoMs).

Большой разброс в содержаниях и значительные концентрации химических элементов в сульфидах возможно связаны с их зональным строением, присутствием микровключений аксессуарных минералов и импульсным характером поступления глубинных флюидов.

Результаты изучения минералогии карбонатов сульфидов сульфидно-карбонатных построек района Тессели свидетельствуют о том, что их образование происходило во время остывания лавового потока одновременно с формированием вмещающей толщи пород таврической серии [Лысенко, 2017]. Присутствие накрита, анкерита и аномальные содержания в сульфидах Au, Ag, As, Cu, Zn, Pb и Sb указывают, что в образовании сульфидно-карбонатных построек принимали участие гидротермальные процессы вулканизма. По размерам и внешней морфологии крымские строения сравнимы с диффузерами, которые являются наростами на трубах «чёрных курильщиков» [Лисицын и др., 1990]. Возможно, в будущем, будут сделаны находки строений более крупных размеров и с другим минералогическим составом вблизи центров палеоизвержения. Минеральный состав крымских построек окрестностей посёлка Тессели имеет значительное отличие от диффузеров «чёрных курильщиков» [Лисицын и др., 1990] и палеогидротермальных труб сульфидных месторождений [Масленников, 2006], что связано с различным составом флюидов и физико-географическими условиями их образования. Главными породообразующими минералами в наших постройках являются антраконит, кальцит, анкерит, а в некоторых местах пирит. Кроме этого в них встречается редкая вкрапленность ангидрита, барита, кварца, галенита, сфалерита, халькопирита и псевдоморфозы марказита по пирротину. Из-за особенностей состава флюидов внешняя

зона крымских построек сложена карбонатом бактериального хемосинтеза, а у диффузеров «черных курильщиков» - сульфидами коллоидной текстуры. Результаты геохимических исследований карбонатов и сульфидов подтверждают глубинный генезис флюидов вулканических извержений, которые использовали прокариоты и археи для создания сульфидно-карбонатных построек на поверхности лавовых палеопотоков андезитов.

Возможно, подобные сульфидно-карбонатные постройки будут найдены на современных лавовых потоках андезитов на дне морей и океанов, а также в других горных регионах.

*Автор благодарит за консультации и оказанную помощь в проведении анализов профессора и член-корреспондента РАН В.В. Масленникова (Институт Минералогии УрО РАН, г. Миасс).*

### **Литература**

1. Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г. Гидротермальные образования рифтовых зон океана. М.: Наука, 1990. 256 с.
2. Лысенко В.И. Находка следов триасового палеовулканизма в западной части южного берега Крыма / Металлогения древних и современных океанов-2017. Дифференциация и причины разнообразия рудных месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2017. С.37-42.
3. Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ОАО «Челябинский дом печати», 2006. 383 с.