

**ОНТОГЕНЕЗ СОВРЕМЕННЫХ И ДРЕВНИХ
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ «КУРИЛЬЩИКОВ»****В.В. Масленников, С.П. Масленникова,****Г.А. Третьяков, А.С. Целуйко***Институт минералогии УрО РАН, Миасс, Россия; mas@mineralogy.ru***ONTOGENESIS OF MODERN AND ANCIENT HYDROTHERMAL «SMOKERS»****Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Tret'yakov G.A., Tseluyko A.S.***Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Russia*

Трубы современных «чёрных и белых курильщиков» являются идеальными объектами для изучения процессов и последовательности гидротермально-осадочного минералообразования, контролируемых резкими температурными и химическими градиентами в зоне смешивания «раствор – морская вода». Многими исследователями изучалась последовательность осаждения минералов и на этой основе создавались модели роста «чёрных курильщиков» (Janecky, Seyfried, 1984; Tivey, 1995; Haymon, 1983; Graham et al., 1988), которые по сути являются первой частью модели онтогенеза. В соответствии с классической моделью, *рост труб «чёрных курильщиков»* начинается с осаждения ангидрита. Р. Хеймон (Haymon, 1983) предложила двустадийную модель роста труб «чёрных курильщиков». Во время первой стадии происходит как центробежное, так и центростремительное разрастание ангидритовой трубы. Во внешнем слое трубы, кроме ангидрита, отлагаются мелкозернистые агрегаты пирротина, пирита и некоторое количество сфалерита. Пирит, марказит, сфалерит и/или вюртцит становятся преобладающими минералами в оболочке трубы, второстепенное значение имеют барит и силикатные фазы. Во вторую стадию после запечатывания пор в оболочке трубы смешение гидротермального флюида с морской водой уменьшается. С этого момента на внутренней стенке трубы из высокотемпературного раствора осаждаются халькопирит и изокубанит, а также, в меньшей степени, сфалерит, пирит и/или пирротин. Одновременно продолжается замещение ангидрита и пирротина пиритом, сфалеритом и халькопиритом в оболочке трубы. Отношение сульфид/сульфат возрастает во время второй стадии, так как зёрна пирита и сфалерита растут на месте ангидрита.

У. Грэхем с соавторами отметили сходство моделей формирования сульфидных труб и скарнов (Graham et al., 1988). Согласно модели роста замещения и растворения, происходит последовательная смена преобладающих сульфидов: марказит + вюртцит → пирит → борнит → халькопирит. Затем с поверхности труба начинает окисляться и разрушаться, а осевая часть канала зарастает в последовательности: пирит → марказит → сфалерит → опал.

В последнее время развивается модель роста сульфидных труб с акцентом на метасоматические процессы (Бородаев и др., 2004). В трубах различаются две метасоматические колонки, развивающиеся навстречу друг другу. Одна («первичная») образуется при воздействии на ангидрит эндогенного флюида, в той или иной степени разбавленного морской водой, с развитием высокотемпературных минералов группы изокубанита и халькопирита. Рост этих зон направлен в сторону от канала. Появление второй метасоматической колонки («экзогенной») обязано проникновению морской воды, нагретой и разбавленной флюидом. В результате реакции с «первичными» Cu-Fe-сульфидами образуется целая гамма минералов системы Cu-S.

Рост *труб «белых курильщиков»* начинается при температурах 100–300 °С. В отличие от ангидрита, который характеризуется растворимостью на регрессивной стадии, минералы кремнезёма и барит слабо растворяются в холодной морской воде и, следовательно, могут стать основой для крупных сульфидных труб (Hannington et al., 1995). Часто трубы «чёрных и белых курильщиков» принадлежат одному крупному каналному комплексу, что указывает на то, что они поддерживаются одними и теми же высокотемпературными растворами. Однако наблюдаются локальные различия в путях прохождения растворов: 1) прямой поток высокотемпературных флюидов с извержением «чёрных курильщиков»;

2) низкотемпературное излияние в структурах «белых курильщиков» вследствие локального смешивания и кондуктивного охлаждения внутри сульфидной постройки. Предполагается, что при формировании труб «белых курильщиков» основная разгрузка высокотемпературных концентрированных растворов происходит при смешении их с морской водой ниже поверхности дна с осаждением халькопирита, кубанита или железистого сфалерита (Tivey, 1995). Остывающие растворы, формирующие трубы «белых курильщиков», несут небольшие количества металлов и восстановленной серы, недостаточные для осаждения обильных сульфидов.

Следует отметить, что рост гидротермальных труб, характеризующихся струйным поступлением флюидов, завершается «головами» или «шпилями» диффузоров, в которых поступление мерцающих флюидов происходит по тонким пористым горизонтальным каналам. Очевидно, такие диффузоры испытывают кондуктивное остывание до 45–60 °С. Кроме этих курильщиков, встречаются низкотемпературные трубки, сложенные опалом и ферригидритом. На поле Рейнбоу нами наблюдалась одна из таких трубок, заполненная самородной серой. Очевидно, что они формировались из низкотемпературных окисленных флюидов.

В последние годы в интернете появились многочисленные фильмы о подводных «жёлтых курильщиках». Строение этих труб изучено слабо. Очевидно, они являются аналогами серных труб, широко представленных в кратерах современных субаэральных гидросольфатарных полей. Онтогенез подводных серных труб пока изучен недостаточно.

Трубы современных и палеозойских «чёрных курильщиков» весьма близки по зональности. Однако признаков ангидритовой оболочки в палеозойских сульфидных трубах не сохранилось. Её место занимают псевдоморфные сульфиды и кварц. Не исключено, что кварц наследует позицию первоначальной опаловой трубки, которая в дальнейшем обрастала сульфидами. Рост типичной пирит-сфалерит-халькопиритовой трубы палеозойских «чёрных курильщиков» из месторождений Яман-Касы, Молодежного и Сафьяновского начинался с разрастания первичной тонкодисперсной сульфидной или опаловой (или ангидритовой) «скорлупы», окружавшей гидротермальную струю. Затем поверхность трубы последовательно обрастала дендритовидным, почковидным и ламинарным колломорфным пиритом или сфалеритом, а стенки канала обрастали халькопиритом, иногда в ассоциации с изокубанитом. По мере запечатывания пористой стенки трубы ангидрит замещался тонкодисперсными дисульфидами железа или сфалеритом. При нарастании температур в самой внутренней части оболочки трубы по этим минералам развивались гидротермально-метасоматические кварц-сфалерит-халькопирит-пиритовые агрегаты. Пористые участки заполнялись халькопиритом, сфалеритом и марказитом, очевидно, в результате реакции гидротермальных флюидов и морской воды внутри оболочки. Рост гидротермальной крустификации начинался с изокубанита, содержащего вкрапленность эвгедральные пирита, разнообразных теллуридов, сульфоарсенидов или галенита, ковеллина и самородного золота. Затем формировался крупнозернистый халькопирит, сростки кристаллов которого имеют облик «копья» или «ёлки», обусловленные нарастанием тетраэдров. Предполагается, что такие агрегаты свидетельствуют о быстром росте халькопирита. Такой халькопирит, как правило, лишён примеси аксессуарных минералов.

На регрессивной стадии минералообразования, обычно отсутствующей в современных «чёрных курильщиках», стенки осевого канала вслед за халькопиритом обрастали друзовыми или почковидными агрегатами изокубанита, затем пирита, марказита, сфалерита (вюртцита), кварца (опала) и иногда барита. Колломорфный пирит на поверхности оболочки трубы окислялся и замещался оксидами и гидроксидами железа.

Несколько другой представляется история формирования большинства барит-пирит-сфалерит-халькопиритовых труб, характерных для Валенторского и Александринского месторождений (Масленникова, Масленников, 2007). Вероятно, рост труб начинался с образования барит-сфалеритовой скорлупы с незначительной примесью тонкодисперсных дисульфидов железа. По мере её разрастания канал заполнялся халькопиритом, сфалеритом и баритом. Оболочка увеличивалась, в основном, за счёт сфалерита. Тонкодисперсные дисульфиды железа во внутренних, более нагретых, частях оболочки превращались в рассеянные эвгедральные кристаллы пирита. Сходную модель роста имеют современные «серые курильщики», например, в бассейне Манус (поля Венский лес, Сюзетта, Пакманус). Отличительной особенностью модели формирования палеозойских «чёрных курильщиков» является

отсутствие ангидрита. Его место в предложенной модели занимают опал или барит. Возможно, отложение «скорлупы» ангидрита не происходило ввиду первоначально низких температур гидротермальных струй (< 160 °С), которые были благоприятны для отложения барита и опала. Барит-сфалеритовые трубы «курильщиков», не содержащие реликтов ангидрита, описаны в рудах месторождений типа куроко (Shimazaki, Horikoshi, 1990), а также дан сравнительный анализ механизма их формирования с современными аналогами (Shikazono N., Kusakabe, 1999).

Предполагается, что история формирования зональности труб «серых» и «чёрных курильщиков» отражает полный цикл от нагревания до температур выше 270 °С и полного остывания до температур океанической воды. Самым высокотемпературным был период формирования халькопиритовой крустификации. Трубы, не содержащие халькопирит, по-видимому, имели более низкотемпературную историю формирования.

В случае срастания труб в единую колонну они могли испытывать повторное нагревание и взаимодействие с гидротермальными флюидами, с соответствующим превращением колломорфного пирита в зернистые агрегаты субгедральных кристаллов (Николаевское, Валенторское, Александринское месторождения). По сравнению с каналом, признаки повторной кристаллизации в оболочках таких труб, где иногда сохраняется низкотемпературный фрамбоидальный пирит, проявлены более широко. В стадию сингенеза и диагенеза могло происходить частичное замещение колломорфного пирита и марказита диагенетическим халькопиритом.

Таким образом, различия в онтогенезе разнообразных по минеральному составу гидротермальных труб «курильщиков» обеспечивается вариациями в градиентах температур, химическом составе изливающих растворов и окислительно-восстановительных условий минералообразования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-05-00630.

Литература

Бородаев Ю.С., Мозгова Н.Н., Габлина И.Ф., Богданов Ю.А., Старостин В.И., Фардуст Ф. Зональные трубки «чёрных курильщиков» из гидротермального поля Рейнбоу (САХ, 36°14' с.ш.) // Вестн. МГУ. Геология. Серия 4. 2004. № 3. С. 35–48.

Масленникова С.П., Масленников В.В. Сульфидные трубы палеозойских «чёрных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург–Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.

Graham U.M., Bluth G.J., Ohmoto H. Sulfide-sulfate chimneys on the East Pacific Rise, 11 and 13°N latitude. Part 1: Mineralogy and Paragenesis // Can. Min. 1988. V. 26. P. 487–504.

Hannington M.D., Jonasson I.R., Herzig P.M., and Petersen S. Physical, chemical processes of seafloor mineralization at mid-ocean ridges // Seafloor hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions. Geophys. Monograph. Washington: Am. Geophys. Union. 1995, V. 91. P. 115–157.

Haymon R.M. Growth history of hydrothermal black smoker // Nature. 1983. V. 301. P. 695–698.

Janecky D.R., Seyfried W.E. Formation of massive sulfide deposits on oceanic ridge crests: Incremental reaction models for mixing between hydrothermal solutions and seawater // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 2723–2738.

Shikazono N., Kusakabe M. Mineralogical characteristics and formation mechanism of sulfate-sulfide chimneys from Kuroko area, Mariana trough and Mid-Ocean ridges // Resource Geology. Special Issue. 1999. № 20. P. 1–11.

Shimazaki H., Horikoshi E. Black ore chimney from the Hanaoka Kuroko deposits, Japan // Mining Geology. 1990. V. 40. № 5. P. 313–321.

Tivey M.K. Modeling chimney growth and associated fluid flow at seafloor hydrothermal vent sites // Seafloor hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions. Geophys. Monograph. Washington: Am. Geophys. Union. 1995, V. 91. P. 158–177.