

ФАНЕРОЗОЙСКИЕ «ЧЕРНЫЕ КУРИЛЬЩИКИ»

Масленников В.В.¹, Масленникова С.П.¹, Леин А.Ю.², Богданов Ю.А.², Третьяков Г.А.³

¹Институт минералогии УрО РАН, Миасс, Челябинская обл., e-mail: mas@mineralogy.ru

²Институт океанологии УрО РАН, Москва, e-mail: lein@geo.sio.rssi.ru

³Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, e-mail: genatret@uiggm.nsc.ru

Яркими свидетелями субмаринной высокотемпературной газо-гидротермальной деятельности в фанерозойских колчеданоносных вулканогенных комплексах являются сульфидные трубы «черных курильщиков». До недавнего времени находки сульфидных труб в древних вулканогенных колчеданных месторождениях были крайне редкими. Лишь в последние годы авторами собрана и изучена большая коллекция разнообразных сульфидных труб фанерозойских колчеданных месторождений Евразии. Если минералогические особенности и условия формирования современных «черных курильщиков» к настоящему времени хорошо изучены [Леин и др., 2003; Бортников, Викентьев, 2005; Бородаев и др., 2004; Викентьев, 2004; Богданов и др., 2006; Zierenberg et al., 1993 и др.], то опубликованных сведений об их древних представителях пока еще немного [Масленников, 2006; Зайков, 2006, Масленникова, Масленников, 2007].

Современные и древние «курильщики» связаны с различными по составу вулканогенными комплексами, что ставит под сомнение проведение прямых аналогий. Действительно, гидротермальные трубы нередко оказываются столь разными по составу, что приходится говорить не об аналогиях, а об очевидных минералогических отличиях. Понять природу этих отличий - одна из важнейших задач развития теории колчеданообразования. В связи с этим, в последние годы активизировались работы по сравнительному анализу состава и условий формирования современных и древних «черных курильщиков». Установлено, что сульфидные трубы древних «черных курильщиков» в целом формировались по той же схеме центробежно-центростремительного донного гидротермального роста, что их современные представители. Общим признаком всех «черных курильщиков» являются концентрические слои друзового халькопирита (зона В), инкрустировавшие стенки каналов труб. Большинство исследователей пришло к выводу, что именно эти слои характеризуют высокотемпературные (330-450 °С) условия формирования «черных курильщиков». По составу других, менее высокотемпературных зон (А, С, D), «черные курильщики» могут существенно отличаться. Понять причины сходства и отличий современных и древних «черных курильщиков» во многом можно на основе выявления корреляций их состава с составами колчеданоносных вулканогенных комплексов, а также на базе физико-химического моделирования параметров и последовательности газо-гидротермального минералообразования.

Можно предполагать, что минералогическая специализация «черных курильщиков» во многом находится в зависимости от состава рудовмещающего вулканогенного фундамента. Подрудные колчеданоносные комплексы по преобладанию вулканитов подразделяются на базальтовые, риолит-базальтовые, базальт-андезит-дацит-риолитовые. Каждый комплекс характеризуется своими минералогическими разновидностями труб «черных курильщиков».

Базальтовые комплексы. Древние аналоги «черных курильщиков» представлены, главным образом, в рудах месторождений кипрского рудно-формационного типа, ассоциирующего с мезозойскими задуговыми или субокеаническими офиолитовыми комплексами. Находки палеогидротермальных сульфидных труб на этих месторождениях являются единичными. Оболочки известных медноколчеданных труб из месторождений кипрского типа (Перистерка на Кипре, Фигаро в Калифорнии) сложены колломорфным пиритом и марказитом. Внутренние стенки труб инкрустированы халькопиритом, иногда изокубанитом. На месторождении Скуриотисса (Кипр) авторами обнаружены многочисленные фрагменты труб-диффузеров, состоящих из пористого колломорфного и зернистого пирита. Для большинства сульфидных труб современных «черных курильщиков», формирующихся на базальтовом основании СОХ Тихого (поле ВТП 9° с.ш.) и Атлантического (поля ТАГ, Лаки Страйк, Брокен Спур), характерна такая же простая минералогическая зональность. Наружные части оболочек труб сложены ангидритом или колломорфным пиритом, марказитом, реже – сфалеритом. По мере перехода к внутренним частям оболочек появляются эвгедральные кристаллы пирротина, частично замещенные марказитом, сфалеритом. На контакте с каналом трубы преобладают эвгедральные кристаллы пирита, цементированные халькопиритом.

Внутренние стенки труб инкрустированы друзовидными агрегатами халькопирита и изокубанита. Осевые части каналов либо полые, либо заполнены вюртцитом, марказитом и пиритом. Акцессорные минералы в сульфидных трубах как древних так и современных колчеданных месторождений кипрского типа встречаются крайне редко. Иногда присутствует примесь ультрамикроскопических зерен галенита и идаита, золота (поля ТАГ и Снейк Пит).

Более разнообразная акцессорная и минерализация встречается в трубах современных “черных курильщиков”, формирующихся на серпентинитовых выступах САХ и на осадочном чехле СОХ [Леин и др., 2003; Zierenberg et al., 1993]. Однако, древние аналоги сульфидные труб “черных курильщиков”, формировавшихся на серпентинитовом или вулканогенно-осадочном основании, пока не обнаружены.

Риолит-базальтовые колчеданосные комплексы отличаются преобладанием основных вулканитов или равным их соотношением с кислыми вулканитами. Как правило, обстановки формирования этих комплексов ассоциируются с задуговыми и междуговыми спрединговыми бассейнами. На палеозойских медно-цинково-колчеданных месторождениях уральского типа (Яман-Касы, Молодежное, Узельга-4, Сафьяновское на Урале, Николаевское на Рудном Алтае) “черные курильщики” представлены в основном медно-колчеданными и медно-цинково-колчеданными разновидностями труб, содержащими обильный колломорфный пирит и марказит, а также псевдоморфозы пирита по пирротину. Гораздо реже встречаются колчеданно-барит-полиметаллические разновидности труб. Чаще всего оболочки сульфидных труб представлены как колломорфным пиритом и марказитом, так и сфалеритом, как и во многих трубах “черных курильщиков” современных СОХ и обширных ЗБ. Однако, в оболочках древних сульфидных труб не сохраняется ангидрит и гораздо реже обнаруживается реликтовый пирротин. Ангидрит, очевидно, полностью растворен, а кристаллы пирротина обычно замещены тонкодисперсным пиритом или марказитом, реже – сфалеритом и кварцем. Каналы труб последовательно заполнены халькопиритом, марказитом, сфалеритом, кварцем, реже – баритом. Крустификационный халькопирит несет признаки решетчатых продуктов распада твердых растворов (ПТР). Однако, в отличие от изокубанита, свойственного “черным курильщикам” СОХ, ПТР уральских “черных курильщиков” характеризуются повышенными содержаниями цинка. Цинковистые разновидности ПТР отмечались ранее в трубах современных “курильщиков” задугового бассейна Лау [Бортников и др., 1993]. В отличие от большинства современных «черных курильщиков», в крустификационном халькопирите медно-колчеданных и медно-цинково-колчеданных труб колчеданных месторождений Урала в минеральных ассоциациях доминируют теллуриды Fe, Co, Au, Ag, Hg, Bi, Pb, иногда самородный теллур, в еще меньшем количестве распространены сульфоарсениды Co и Fe, мышьяковые и теллуриды сульфосоли Ag, Cu, Pb и Hg, а также самородное золото [Масленникова, Масленников, 2007]. Установлена смена сульфоарсенидных, арсенидных и теллуридных ассоциаций золото-галенит-сульфосольными в ряду от медно-колчеданных труб к медно-цинково-колчеданным и колчеданно-полиметаллическим. Нередко медно-колчеданные трубы, как и многие подобные “черные курильщики” современных СОХ почти не содержат акцессорной минерализации. Максимальное количество и разнообразие акцессорных минералов отмечается в медно-цинково-колчеданных трубах. Для колчеданно-полиметаллических труб типичен простой парагенезис галенита, золота, теннантита, тетраэдрита, более характерный для «курильщиков» месторождений следующего рудно-формационного типа (куроко).

Базальт-андезит-дацит-риолитовые колчеданосные комплексы отличаются ограниченным распространением базальтов в подрудных толщах при преобладании средних и кислых вулканитов. Условия формирования этих вулканических комплексов ближе всего сопоставляются с внутридуговыми бассейнами, осложненными локальными раздвигами и кальдерами. С ними обычно связаны колчеданно-полиметаллические месторождения типа куроко (подтипы: баймакский, алтайский, понтийский или малокавказский). Сульфидные трубы палеозойских “черных курильщиков” (ордовик-девон) обнаружены нами в рудных холмах и сульфидных брекчиях медно-цинково-колчеданных месторождений Урала (Валенторское, Александринское, Октябрьское, Джуса, Талганское, Таш-Тау), которые относятся к баймакскому подтипу, а также Рудного Алтая (Артемьевское, Заречное), связанные с алтайским подтипом. Представителями мезозойских колчеданных месторождений типа куроко (подтип понтийский или малокавказский) являются месторождения Чейли-Маденкой и Лаханос в Турции. Кайнозойские (миоценовые) месторождения, содержащие многочисленные

трубы “черных курильщиков” обнаружены типовых месторождениях куроко - Матсумине, Митсуки, Ханавы, Фурутобе, Эзури в Японии (о. Хонсю, район Хокуроко).

Среди труб преобладают колчеданно-полиметаллические и барит-полиметаллические разновидности. В большинстве из них, в отличие от труб предыдущих типов колчеданных месторождений, колломорфный пирит отсутствует или является второстепенным минералом. Пирротин или псевдоморфозы пирита по пирротину не встречаются. Оболочка многих сульфидных труб сложена в основном сфалеритом или баритом с примесью галенита, блеклых руд, реже глобулярного колломорфного, фрамбоидального, субгедрального и эвгедрального пирита. Нередко колломорфные разновидности пирита замещены халькопиритом и борнитом или теннантитом. Внутренние стенки труб инкрустированы халькопиритовыми или сфалерит-халькопиритовыми зернистыми слоями. Осевые части каналов последовательно заполнены сфалеритом, графическими сростаниями галенита и блеклых руд, баритом. ПТР из группы изокубанита не встречаются. Их место занимают тонкие халькопирит-борнитовые сростания, имеющие горчичный цвет. В более крупнозернистых агрегатах видны решетчатые структуры, образованные ламеллами халькопирита в борните. В оболочках труб, богатых сфалеритом, встречается обильная магнетитовая, реже гематитовая минерализация. Отличительная особенность сульфидных колчеданно-полиметаллических и барит-полиметаллических труб – широкое развитие золото-галенит-блекловорудной ассоциации, иногда с сульфосолями серебра, сульфидами серебра и висмута. Гораздо реже встречаются теллуриды серебра (Александринское), еще реже – висмута, серебра и золота (Валенторское), а также поздний арсенипирит, заместивший теннантит (Артемьевское). В целом, баритсодержащие «курильщики» – индикаторы месторождений типа куроко, характерны для гидротермальных полей, формирующихся на андезит-дацит-осадочном основании в западной части Тихого океана [Богданов и др., 2006]. Так же, как и сульфидные трубы из месторождений типа куроко, оболочка современных “черных (серых) курильщиков” образована сфалеритом, баритом, при подчиненной роли пирита. Стенки каналов труб в большинстве случаев последовательно инкрустированы халькопиритом, сфалеритом и баритом. Многие сульфидные проявления современных внутридуговых рифтов характеризуются обилием галенита, теннантита, тетраэдрита, золота и сложных нестехиометричных Cu–Ag–Pb–As–Sb сульфосолей.

Таким образом, установлена корреляция между соотношением вулканитов и составом сульфидных труб «черных курильщиков». В рудно-формационном ряду в «черных курильщиках» убывает роль железистых минералов (пирротина, пирита, марказита), возрастает роль борнита, сфалерита, галенита и барита. Типовыми для месторождений кипрского типа являются медно-колчеданные трубы, для уральского – медно-цинково-колчеданные, для куроко – колчеданно-барит-полиметаллические. Анализ распределения ассоциаций аксессуарных минералов на диаграммах $\log fS_2$ - $\log fTe_2$ и $\log fTe_2$ - $\log fO_2$ свидетельствует о нарастании окислительного характера минералообразования в ряду от медно-колчеданных труб к колчеданно-полиметаллическим. Все это логично коррелирует с изменениями составов вулканитов (содержаний FeII) в представленном рудно-формационном ряду месторождений колчеданного семейства.

Методом ЛА–ИСП–МС (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой и лазерным микроотборником в Университете Тасмании) определены особенности распределения элементов-примесей в фанерозойских «черных курильщиках». Установлено явление гидротермально-осадочной дифференциации элементов-примесей, которое привело к «скрытой» геохимической зональности труб. Выявлены геохимические отличия “черных курильщиков”, сформированных в различных вулканогенных обстановках. На основе сравнения высокотемпературных халькопиритовых крустификаций установлена зависимость спектра элементов-примесей от состава субстрата, на котором сформированы современные и древние «черные курильщики». Серпентинитовый субстрат – Co и Ni, иногда Se, базальтовый – Co, Se и низкий Bi, риолит-базальтовый – Te и Bi, иногда Co и средний Se, баральт-андезит-дацит-риолитовый – As, Mo, Pb, иногда W и низкий Co. Открываются перспективы использования геохимической специализации “черных курильщиков” при палеовулканических реконструкциях.

Проведено физико-химическое моделирование минералообразования в системе океаническая вода/базальт по программе «Селектор» [Кагров, 1997]. Установлено, что последовательность гидротермального отложения минералов в каналах «черных курильщиков» определяется кондуктивными изменениями температуры раствора. В целом, последовательность минералообразования по мере кондуктивного остывания растворов от 370

°С до 2 °С обычно соответствует природной схеме: зона В (ангидрит+халькопирит ± алтаит) → зона С (±борнит ± пирит ±сфалерит ± галенит) → зона D (± кварц ± барит). Минеральный тип курильщика определяется соотношением океанская вода/порода в зоне взаимодействия базальта с раствором, а также зависит от дополнительной добавки или окисления H₂S [Третьяков, Масленников, 2008]. Окисление H₂S, по-видимому, может быть связано с уменьшением буферирующей роли базальтов по мере увеличения роли кислых вулканитов при равном соотношении вода/порода. Последовательность минералообразования в оболочках труб с одной стороны определяется процессами их повторного нагревания, с другой – кислотнo-основной реактивностью минералов, взаимодействующих с океанской водой [Масленников, 2006].

К настоящему времени стало очевидным, что современные и древние «черные курильщики» представляют собой единую группу донных гидротермальных халькопиритсодержащих труб, которые частично различаются по минеральным ассоциациям, в зависимости от вариаций условий вулканогенного рудообразования.

Работы выполнялись по проекту Президиума РАН №17 и Интеграционного проекта УрО и СО РАН. Авторы благодарны академику А. П. Лисицыну, академику В.А.Коротееву, проф. В. В. Зайкову, проф. В. А. Прокину, проф. Р. Ларжу, проф. Л. Данюшевскому, проф. И. Джонассону, проф. Р.Херрингтону, проф. Д.Ишияме за помощь в проводимых исследованиях..

Список литературы

Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевиц А.М., Гурвич Е.Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.

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

Бортников Н. С., Федоров Д. Т., Муравьев Г. К. Минеральный состав и условия образования сульфидных построек бассейна Лау (юго-западная часть Тихого океана) // Геол. рудн. местор., 1993. Т. 35. № 6. С. 528–543.

Бортников Н.С., Викентьев И.В. Современное сульфидное минералообразование в мировом океане // Геол. рудн. местор., 2005. Т. 47. № 1. С. 16–50.

Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных месторождений Урала. М.: Научный мир, 2004. 344 с.

Зайков В. В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин (на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири). Изд. 2-ое, доп. М.: Наука, 2006. 428 с.

Леин А. Ю., Черкашев Г. А., Ульянов А. А. и др. Минералогия и геохимия сульфидных руд полей Логачев-2 и Рейнбоу: черты сходства и различия // Геохимия, 2003. № 3. С. 304–328.

Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.

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

Третьяков Г.А., Масленников В.В. Источник вещества и зональность стенки трубы «черного курильщика» по данным физико-химического моделирования // Рудогенез. Материалы международной конференции. Миасс-Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 313 – 317.

Karpov I.K., Chudnenko K.V., Kulik D.A. Modeling chemical mass transfer in geochemical processes: Thermodynamic relations. Conditions of equilibrium, and numerical algorithms // Amer. J. Sci., 1997.V. 297. P. 767 – 806.

Zierenberg R. A., Koski R. A., Morton J. L. Bouse R. M. Genesis of massive sulfide deposits on a sediment-covered spreading center, Escanaba trough, Southern Gorda Ridge // Econ. Geol., 1993. V. 88. № 8. P. 2069–2099.