

ЧАСТЬ 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ

В.В. Масленников

*Южно-Уральский федеральный научный центр
минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия
mas@mineralogy.ru*

30 лет сравнительного анализа колчеданных фаций в древних и современных океанах (краткий обзор)

V.V. Maslennikov

*South Urals Federal Research Center of
Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia*

Thirty years of comparative analysis of massive sulfide facies of ancient and modern oceans: a brief review

Abstract. The paper presents a brief review of results of comparative analysis of massive sulfide facies of ancient and modern oceans. Similar mineralogical and geochemical features are shown for ancient and modern smoker chimneys, clastic sulfides and gossanites.

Тридцать лет назад сравнительный анализ рудных фаций древних и современных колчеданных месторождений во многом был инициирован В.В. Зайковым и А.П. Лисицыным при участии автора. Проведение подобных исследований в этот же период было связано с работами С. Скотта, Р. Ларжа, Р. Херрингтона и П. Херцига. Упоминания о сходстве древних и современных колчеданных месторождений можно найти в работах Т.Н. Шадлун, Н.С. Бортникова, А.Г. Злотника-Хоткевича, В.В. Авдонина, И.Б. Серавкина, В.А. Симонова, А.Ю. Леин, И.В. Викентьева, К.Р. Ковалева, И.В. Гаськова, В.А. Акимцева, В.В. Кузнецова и С.В. Кузнецовой. Большинство других отечественных и зарубежных геологов сравнивали древние колчеданные месторождения с сульфидными металлоносными осадками Красного моря.

В лаборатории минералогии рудогенеза Института минералогии УрО РАН, который в настоящее время входит в структуру Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН, сравнительный анализ минералогии и геохимии рудных фаций современных и древних колчеданных месторождений приобрел новое звучание в работах В.В. Зайкова, В.В. Масленникова, С.П. Масленниковой, Е.В. Белогуб, Н.Р. Аюповой, Н.П. Сафиной, И.Ю. Мелекесцевой, Г.А. Третьякова, А.С. Целуйко, С.Г. Тесалиной. Были выделены и охарактеризованы донные и придонные гидротермальные, гидротермально-биогенные, кластогенные фации, включая коллювиальные брекчий, сульфидные турбидиты, а также продукты их гидротермального, гальмиролитического, диагенетического и метагенетического преобразования [Зайков, 1991; Зайков и др., 2001; Зайков, 2006; Масленников, 2006].

В противовес модели гидротермально-осадочного формирования колчеданных месторождений из металлоносных рассолов красноморского типа рудно-фациальный анализ показал принадлежность большинства колчеданных месторождений к аналогам современных черных курильщиков. Значительная часть колчеданных залежей представляет собой в различной степени разрушенные сульфидные холмы, подобные современным сульфидным постройкам [Зайков, 2006; Масленников, 1999, 2006].

Степень разрушения сульфидных холмов связана с режимами вулканизма, которые подразделяются на интенсивный, циклический, затухающий и эпизодический типы [Масленников, 2012]. Сульфидные холмы хорошей сохранности, сформированные в условиях интенсивного вулканизма, как правило, перекрыты лавовыми потоками. Это обычно небольшие по размерам залежи (Валенторское, Яман-Касы), в которых преобладают донные гидротермальные фации и сульфидные брекчии при минимальном количестве сульфидных турбидитов и продуктов их гальмиролиза. Гораздо реже встречаются «многоэтажные» крупные залежи (Новый Сибай), сформированные в условиях, переходных к циклическому вулканизму. Также как и на Сибайе, гигантские умеренно разрушенные сульфидные холмы (Учалы, Сафьяновское, Новые Учалы, Озерное на Урале, Николаевское, Орловское на Рудном Алтае, Балд-Маунтит в Аппалачах) перекрыты мощной лавогиалокластитовой толщей при минимальном количестве вулканогенно-осадочных пород. Циклический вулканизм характеризуется палеогидротермальными полями, локализующимися на нескольких стратиграфических уровнях (крупные по запасам Межозерный и Маканский рудные узлы, Юбилейное месторождение). Степень разрушения сульфидных построек возрастает от нижнего уровня к верхнему.

Сильно разрушенные сульфидные постройки формировались в условиях затухающего вулканизма (Подольское, Александринское). Колчеданные залежи, ассоциирующие с вулканогенно-осадочными отложениями сложены, преимущественно, сульфидными турбидитами (Осеннее, Зимнее, Маук на Урале, Батурст в Аппалачах). В этом же ряду возрастает количество сульфидных турбидитов и продуктов их гальмиролиза, и исчезают гидротермально-биогенные сульфидные фации [Масленников и др., 2016]. Крайними членами ряда могут быть колчеданно-полиметаллические месторождения, залегающие в вулканогенно-осадочных и осадочных толщах с проявлениями эпизодического эффузивно-гиалокластитового вулканизма (Озерное в Забайкалье). Самыми крайними членами ряда могут быть стратиформные колчеданно-полиметаллические месторождения, локализующиеся в черносланцевых толщах. Многие исследователи считают эти месторождения эксгальционно-осадочными (Жайрем, Мак-Артур), однако их слоистые руды сложены сульфидными диагенитами, образовавшимися по сульфидным турбидитам. Гораздо реже встречаются эдафогенные сульфидные брекчии.

Принадлежность колчеданных холмов к сульфидообразующим системам курильщиков доказана находками их гидротермальных труб на более чем 30 колчеданных месторождениях Урала, Рудного Алтая, Хокуроко и Понтид [Масленникова, Масленников, 2007; Масленников и др., 2019; Maslennikov et al., 2009, 2017; Целуйко и др., 2017; Кузнецова, 2019]. Охарактеризована минералогия, геохимия и условия локализации палеогидротермальных труб в рудах колчеданных месторождений. Сходство микрофациальной зональности труб древних и современных курильщиков обусловлено единством модели взаимодействия высокотемпературных флюидов с морской водой. Установлено явление гидротермально-осадочной дифференциации химических элементов в процессах формирования труб древних и современных курильщиков. Наряду с аналогами современных черных курильщиков, выявлены аналоги серых и мерцающих бесцветных курильщиков. Появление этих типов гидротермальных труб связано с вариациями исходных физико-химических условий минералообразования. Другими факторами минералого-геохимического разнообразия современных и древних курильщиков является их зависимость от состава рудовмещающих формаций и зрелости гидротермальных

систем. На континентах, также как и в современных островодужных бассейнах, доминируют серые курильщики, тогда как в срединно-океанических хребтах высокотемпературными членами ряда являются черные курильщики, залегающие на базальтах и серпентинитах. Как современные, так и древние серые курильщики отличаются от черных разнообразием акцессорных минералов, среди которых изобилуют теллуриды, арсениды и сульфосоли, а также низкими содержаниями Co и Se при преобладании высоких концентраций Pb, Ba, Tl и Bi. Последние четыре элемента указывают на высокую зрелость гидротермальных систем серых курильщиков, характерных для островодужных систем.

Крупным открытием последних десятилетий стало обнаружение на многих колчеданных месторождениях Урала, Кипра, Омана и Понтида оруденелой пригидротермальной фауны, которая по условиям залегания и таксономической принадлежности, также как и пригидротермальная биота современных черных курильщиков, может принадлежать миру бактериального хемосинтеза [Масленников, 1999; Леин и др., 2004; Масленников и др., 2016].

Слоистые руды колчеданных месторождений нередко считают эксгаляционно-осадочными образованиями. Однако в большинстве своем они оказываются сульфидными диагенитами, образовавшимися в условиях придонного преобразования сульфидных турбидитов [Maslennikov et al., 2019]. Особое место в преобразованиях кластогенных руд занимает гальмиролиз – процесс активного взаимодействия сульфидов с морской водой, сопровождающийся растрескиванием и растворением рудокластов. Этот процесс является триггером последующего диагнетического сульфидообразования из насыщенных металлами иловых вод. В пользу гальмиролиза свидетельствует зависимость степени преобразования сульфидных турбидитов от их гранулометрического состава: наиболее интенсивно преобразуются мелко-обломочные рудокластиты, тогда как сульфидные брекчии либо хорошо сохраняются, либо лишь частично замещаются аутигенными минералами. В связи с этим, циклиты сульфидных турбидитов, характеризующиеся градацией рудокластов, имеют асимметричную минералогическую зональность. Кровля многих циклитов обычно замещена халькопиритом или сфалеритом, баритом, а также эвгедральным пиритом. Появление эвгедрального пирита, который обычно считается метаморфическим, вполне возможно на стадии диагенеза. Об этом, например, свидетельствует обилие диагнетического эвгедрального пирита в гиалокластитовых тефроидах поля Менез Гвен, содержащих обломки курильщиков. Состав и эволюция диагенитов определяется составом исходных рудокластитов. Преобладание одного из сульфидов предопределяет формирование диагенита того же состава за счет отличий в кислотно-щелочных взаимодействиях. Другой фактор – примесь «постороннего» материала сопутствующих осадков. Сульфидные парагенезисы рудокластитов напоминают парагенезисы сульфидных песков современных сульфидоносных полей [Сафина, Масленников, 2009]. Сульфидные диагениты древних колчеданных месторождений содержат разнообразную акцессорную минерализацию [Maslennikov et al., 2019]. Данные по современным диагенитам пока скудны.

Сульфидные диагениты и околорудные сульфидоносные кремнистые и кремнисто-гематитовые породы колчеданных месторождений, также как и обломочные руды современных сульфидообразующих систем, содержат сульфидные конкреции, каждая из которых характеризуется своеобразной геохимической зональностью, отражающей стадии минералообразования. На начальной стадии формировалось ядро конкреции, сложенное тонкозернистым пиритом, содержащим пойкилиты обломков вмещающих отложений. Каймы конкреций представлены крупнозернистым ангедральным и субгедральным пиритом, обедненным микроэлементами. Однако в нем встречаются включения теллуридов, халькопирита, сфалерита, сульфосолей и самородного золота. Остается проблема определения стадии образования таких кайм, поскольку они несут признаки как позднего диагенеза, так и низкоградного метаморфизма (включая катагенез и метагенез). Каймы субгедрального пирита нередко встречается в

литифицированных рудокластитах современных колчеданоносных полей [Melekestseva et al., 2018; Maslennikov et al., 2020].

Сравнительный анализ был бы неполным без изучения окисдно-железистых отложений, ассоциирующих с колчеданными месторождениями, и оксигидроксидных охр современных сульфидоносных систем черных курильщиков. На колчеданных месторождениях Урала выделены госсаниты – окисдно-железистые продукты окисления кластогенных сульфидных отложений. Госсаниты состоят из псевдоморфоз гематита или магнетита по сульфидным рудокластам и гиалокластам. В современных госсанитах (апосульфидных охрах) доминируют псевдоморфозы гетита и лепидокрокита, гораздо реже встречаются гематит и магнетит. В древних госсанитах и переслаивающихся с ними сульфидных диагенитах содержатся аутигенные акцессорные борнит, барит, дигенит, ковеллин, халькопирит, сфалерит, галенит, а также теллуриды и самородное золото. В этих породах также встречены разнообразные селениды, характерные и для континентальных зон гипергенеза [Belogub et al., 2020]. В современных субмаринных госсанитах, кроме борнита и разнообразных сульфидов меди, обнаружено золото, реликтовые и аутигенные разновидности халькопирита, сфалерита, галенита, барита и пирита. По мере исчезновения гиалокластов, отрицательная аномалия Eu, как и в древних госсанитах, меняется на положительную, характерную для современных оксигидроксидов – продуктов окисления сульфидных холмов черных курильщиков. Отличительной особенностью древних и современных госсанитов является присутствие уранинита и обогащение их U [Ауурова et al., 2018].

В целом, сравнительный анализ древних и современных колчеданных месторождений успешно продолжается. Большие перспективы для понимания минералого-геохимического разнообразия месторождений колчеданного семейства имеет физико-химическое моделирование состава и условий формирования конкретных рудных фаций [Третьяков, 2015].

Исследования проводились в рамках государственного задания № 075-00880-22-00.

Литература

Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин (на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири). М.: Наука, 1991. 206 с.

Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В., Херрингтон Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 315 с.

Зайков В.В., Шадлун Т.Н., Масленников В.В., Бортников Н.С. Сульфидная залежь Яман-Касы – древний «черный курильщик» Уральского палеоокеана // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 6. С. 511–529.

Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири. М.: Наука, 2006. 429 с.

Леин А.Ю., Масленников В.В., Масленникова С.П. и др. Изотопы серы и углерода в пригидротермальных экосистемах черных курильщиков Уральского палеоокеана // Геохимия. 2004. № 7. С. 770–784.

Кузнецова С.В. Минералогическая характеристика первых находок гидротермальных труб палеозойских «курильщиков» в Российской части Рудного Алтая // Руды и металлы. 2019. № 1. С. 45–51.

Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экогенез колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. 348 с.

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

Масленников В.В. Морфогенетические типы колчеданных залежей как отражение режимов вулканизма // Литосфера. 2012. № 5. С. 96–113.

Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Масленникова С.П., Целуйко А.С. Гидротермальные биоморфозы колчеданных месторождений: микротекстуры, микроэлементы и критерии обнаружения. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2016. 388 с.

Масленников В.В., Масленникова С.П., Леин А.Ю. Минералогия и геохимия черных курильщико-ков древних и современных океанов (сравнительный анализ). М.: Президиум РАН, 2019. 835 с.

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

Сафина Н.П., Масленников В.В. Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс: УрО РАН, 2009. 260 с.

Третьяков Г.А. Минеральные ассоциации и поведение рудообразующих элементов при взаимодействии пород с морской водой в гидротермальных условиях // Литосфера. 2015. № 6. С. 142–147.

Целуйко А.С., Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Масленникова С.П. Минеральные и текстурно-структурные особенности рудных фаций Юбилейного медно-колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известие вузов. Геология и разведка. 2017. № 4. С. 50–56.

Ayupova N.R., Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V. et al. Uranium accumulation in modern and ancient Fe-oxide sediments: examples from the Ashadze-2 hydrothermal sulfide field (Mid-Atlantic Ridge) and Yubileynoe massive sulfide deposit (South Urals, Russia) // Sedimentary Geology. 2018. Vol. 367. P. 164–174.

Belogub E.V., Ayupova N.R., Krivovichev V.G., et al. Se minerals in the continental and submarine oxidation zones of the South Urals volcanogenic-hosted massive sulfide deposits: a review // Ore Geology Reviews. 2020. Vol. 122. P. 103500.

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R. et al. Chimneys in Paleozoic massive sulfide mounds of the Urals VMS deposits: Mineral and trace element comparison with modern black, grey, white and clear smokers // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 18. № 2. P. 64–106.

Maslennikov V.V., Cherkashov G.A., Artemyev D.A., et al. Pyrite varieties at Pobeda hydrothermal fields, Mid-Atlantic Ridge 17°07'–17°08' N: LA-ICP-MS data deciphering // Minerals. 2020. Vol. 10(7). Article 622.

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Herrington R.J. et al. Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals // Ore Geology Reviews. 2012. Vol. 47. P. 5–41.

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Safina N.P., et al. Mineralogical features of ore diagenites in the Urals massive sulfide deposits, Russia // Minerals. 2019. Vol. 9(3). Article 150.

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R., Danyushevsky L.V. Study of trace element zonation in vent chimneys from the Silurian Yaman-Kasy volcanic-hosted massive sulfide deposit (Southern Urals, Russia) using laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICPMS) // Economic Geology. 2009. Vol. 104. P. 1111–1141.

Melekestseva I., Maslennikov V., Safina N. et al. Sulfide breccias from the Semenov-3 hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge: authigenic mineral formation and trace element pattern // Minerals. 2018. Vol. 8(8). Article 321.