

СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ СЕРНО-СУЛЬФИДНАЯ ЗАЛЕЖЬ ВУЛКАНА МЕНДЕЛЕЕВА (О-В КУНАШИР) КАК ВОЗМОЖНЫЙ АНАЛОГ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ ГАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 2020 г. А. И. Малышев

Выполнен сравнительный анализ результатов исследования апикальной зоны окисления Гайского месторождения с имеющимися данными по серно-сульфидной залежи влк. Менделеева. В обоих случаях хорошо выражен полный тренд окисления серы. Имеется аналогия в структурном контроле и строении апикальных частей обоих объектов. Им свойственны однотипные температурные режимы формирования. Образование обоих объектов соответствует мофетной стадии затухания газогидротермального процесса. Обоим объектам свойственно широкое разнообразие фациального состава и текстур руд и измененных пород, включая текстуры кипения сажистых сульфидов в серно-кварцевой сыпучке, а также широкое распространение селеновых пород вплоть до отложений самородного селена на Гайском месторождении и ртутно-селенистой сульфидной минерализации на влк. Менделеева. Все это позволяет рассматривать серно-сульфидную залежь влк. Менделеева как возможный аналог Гайской зоны окисления и делает интересным детальное сравнительное исследование их фациальных, текстурных и структурных особенностей.

ВВЕДЕНИЕ

Гайское месторождение (открыто в 1949 г., эксплуатируется с 1959 г.) – крупнейшее по запасам меди в РФ и крупное по запасам золота [Овчинников, 1998]. Главные рудные минералы – сульфиды (90–95%): пирит (10–95), халькопирит (до 60), сфалерит (до 70), борнит (до 30–40%); кроме того, встречаются золото (тонкодисперсное в сульфидах, преимущественно в пирите), блеклые руды, галенит. Месторождение выявлено в вулканиках ранне-среднедевонского возраста, слагающих палеовулканическую структуру. Центральная ее часть представлена породами риолит-базальтовой и андезит-базальтовой формаций, периферия – терригенными породами живетского яруса (улутауская свита). Распространены субвулканические тела (в основном риолит-дациты) и дайки (преимущественно основного состава). Метасоматиты и рудные тела приурочены к жерловым фациям вулканитов в пределах Гайской магмовыводящей зоны. Оруденение прослеживается на глубину более 1.5 км. В общей сложности выявлено 50 рудных тел мощностью от нескольких метров до 100 м и более. В верхней части месторождения находится «Стержневая линза» – самая крупная залежь богатых колчеданных руд, имеющая сверху воронкообразную форму в соответствии с формой кальдерной депрессии. Ниже нее распространены сравнительно убогие прожилково-вкрапленные колчеданные и медноколчеданные руды вулканогенно-метасоматического происхождения. Чуть выше «Стержневой линзы», на верхнем замыкании рудных тел месторождения, располагалась сернокол-

чеданная залежь II, в настоящее время почти полностью отработанная карьером. В свою очередь, в кровле этой залежи обнаружена зона существенно-го развития серной минерализации. Здесь зафиксирован [Зайков, Сергеев, 1993; Малышев, 2011, 2015] хорошо выраженный тренд окисления серы $S^{2-} \rightarrow [S_2]^{2-} \rightarrow S^0 \rightarrow S^{4+} \rightarrow S^{6+}$, приводящий к последовательной смене вверх по разрезу сплошных сульфидных руд зоной существенного развития сначала серной, а затем сульфитной и сульфатной минерализации.

Окислительный тренд этого разреза не вызывает сомнений, однако точки зрения на его образование диаметрально противоположны: согласно [Зайков, Сергеев, 1993], этот тренд рассматривается как классическое проявление гипергенеза (результат экзогенных окислительных процессов), тогда как по нашим данным [Малышев, 2011, 2015], и сам тренд, и сформированная им минерализация есть следствие физико-химической эволюции эндогенных рудообразующих флюидов. Из всего множества аргументов, подтверждающих эту точку зрения, достаточно упомянуть факт присутствия в разрезе серных отложений псевдоморфоз моноклинной серы [Зайков, Сергеев, 1993], являющейся характерным индикатором ее первичного высокотемпературного (вулканогенного, гидротермально-метасоматического), а не гипергенного генезиса. Аналоги серно-кварцевых отложений Гайского месторождения известны на месторождениях Майкаин «С» и Западно-Озерное. В разрезе этих месторождений, как и на Гайском, наблюдается однотипное изменение степени окисления серы от сульфидной к самородной и затем к сульфатной,

а максимальное содержание самородной серы приурочено к контакту колчеданной и кремнисто-гипсовой сыпучек. Поэтому вполне естественно рассматривать их с единых генетических позиций.

Если на колчеданных месторождениях Урала, имеющих сравнительно древний возраст, проявления полнопрофильного тренда окисления серы встречается сравнительно редко, то для молодых и современных месторождений самородной серы они вполне обычны [Вулканические серные месторождения..., 1971]. В частности, переходы сплошных серных руд в преимущественно сульфидные отложения отмечаются на юго- и северо-восточном фумарольных полях влк. Менделеева, на влк. Мачеха (Первый и Третий участок месторождения Высокого), на внутренних склонах соммы влк. Криштофовича (в частности, в верховьях р. Водопадной), у юго-восточного подножия влк. Билибина, на Малетойвайском серном месторождении, на руднике Хоробецу (склон г. Орофуре, о. Хоккайдо, Япония), на руднике Абута (южная часть кальдеры Тоя, о. Хоккайдо, Япония), а также на юго-восточном склоне влк. Хатимантай, где расположено крупнейшее в Японии серное месторождение Мацуо.

В обобщениях обзора [Вулканические серные месторождения..., 1971] исследователи отмечают, что в вертикальных разрезах отложений фумарол видно, что сера с глубиной сменяется через 1.0–1.5 м черными сульфидами железа. На эродированных вулканах отложения черных сульфидов под фумаролами прослеживаются вдоль трещин на глубину до нескольких десятков метров (влк. Мачеха). Чередование в фумарольных буграх отложений серы и сульфидов железа, по мнению исследователей, может быть связано с пульсирующим действием фумарол: при более сильных газовыделениях верхний уровень отложения сульфидов поднимается и их слойки накладываются на серные. Взаимоотношения серной и сплошной сульфидной минерализации свидетельствуют [Малышев, 2015], что сульфидообразование происходило за счет серного расплава при его газотемпературной активности, т. е. повышения его химической активности за счет разрушения полимерных цепей как вследствие повышения температуры, так и благодаря молекулярному воздействию проходящего через расплав эндогенного газового потока. Оба эти фактора нередко действуют одновременно, так как основным переносчиком эндогенного тепла являются высокотемпературные эндогенные летучие.

Среди перечисленных примеров серно-сульфидная залежь северо-восточного фумарольного поля влк. Менделеева представляет наибольший интерес для сравнения с зоной окисления Гайского месторождения. Она относительно доступна, достаточно хорошо изучена [Лебедев и др., 1980] и характеризуется разнообразными формами

сульфидно-серно-сульфатных взаимоотношений. Здесь [Вулканические серные месторождения..., 1971] в серных залежах изменчивой мощности (от нескольких сантиметров до 2 м) с глубиной содержание самородной серы уменьшается из-за появления все больших количеств сульфидов железа (пирита и главным образом мельниковита). В восточной части этого фумарольного поля на поверхность выходит крупное плоское тело, сложенное преимущественно сульфидами железа, к которым примешивается (в количестве 15–20%) самородная сера зеленовато-желтой окраски. Намечаются его пологое падение на восток под углами 10–15° и перекрытие сульфидов сильно окварцованными породами. Большая часть серы находится в сульфидной породе в виде прожилков, но нередко наблюдаются реликты коллоидных текстур с тонким чередованием слоев серы и сульфидов железа. Встречаются реликты агломератовидных структур.

История влк. Менделеева включает три этапа [Мархинин, 1959].

1. Формирование древнего конуса вулкана высотой до 1500 м в результате излияния лав основного состава.

2. Образование кальдеры вследствие мощного извержения и обрушения центральной части вулканического конуса по кольцевому разлому.

3. Внедрение дацитовой магмы в северо-восточной части кальдеры образовало полужэкструзивное тело типа сводовой горы. Ее рост сопровождался извержениями дацитовых пирокластов, покрывающих ныне рыхлым плащом побочную вершину вулкана, и завершился формированием крупного экструзивного купола.

По данным [Лебедев и др., 1980], вулкан Менделеева имеет верхнеплейстоценовый возраст (39.10 ± 0.75 тыс. лет по радиоуглеродной датировке), тогда как возраст его вершинного купола оценивается в 4 тыс. лет. Продукты его извержений представлены в основном андезибазальтами, лишь последний экструзивный купол сложен дацитом. На склонах вулкана расположены четыре действующих сольфатарных поля, получившие свое название по расположению относительно вершинного дацитового купола: Северо-западное, Северо-восточное, Восточное и Юго-восточное. Все сольфатарные поля расположены на примерно одинаковой высоте – 350–400 м и, по предположению Е.К. Мархинина [1959], приурочены к северному полукольцу кольцевого разлома. Разлом окаймляет депрессию, в центре которой впоследствии вырос вершинный купол. Таким образом, имеется аналогия в структурном контроле и строении апикальных частей Гайского рудного поля и серно-сульфидного рудного поля влк. Медведева.

Для сольфатарных полей влк. Менделеева характерны многочисленные слабые рассредоточенные выходы парогазовых струй. Исключение со-

ставляет только Северо-западное поле с двумя мощными газовыми выходами. По данным [Лебедев и др., 1980], в конце 1970-х гг. температура большинства сольфатар составляла 99–100°C, в некоторых случаях опускаясь до 85–90°C. Однако незадолго до этого отмечались температуры выше точки кипения воды, а в начале 1950-х гг. температура мощных струй на Северо-западном поле была 111 и 122°C. Недавние определения [Котенко и др., 2016] показали температуры 98–99°C. Если учесть, что при реконструкции условий образования зоны окисления Гайского месторождения [Малышев, 2011, 2015] установлена температура ~143°C, то с поправкой на разность глубин (~70 м на Гайском месторождении и поверхностные условия на влк. Менделеева) температурные режимы формирования рассматриваемых объектов аналогичны.

В составе вулканических газов сольфатарных полей влк. Менделеева доминирует диоксид углерода CO_2 , затем газы группы серы, среди которых преобладает сероводород H_2S , в небольших количествах – HCl , H_2 и CH_4 . В целом это соответствует мофетной стадии затухания газогидротермального процесса, реконструированной для условий формирования зоны окисления Гайского месторождения.

Колчеданные руды, локализованные в пределах Северо-восточного сольфатарного поля влк. Менделеева, интересны непосредственной связью с процессами вулканизма, а также своим молодым возрастом – процессы их формирования продолжают в настоящее время.

Морфологически поле, имеющее неправильные очертания и размеры ориентировочно 500×270 м, расположено в небольших долинах трех ручьев, разграниченных невысокими водоразделами. В северо-восточной части поля эти ручьи сливаются в единое русло и дают начало руч. Кислый. Пирокластические породы, слагающие поле, подверглись интенсивной переработке, пропитаны растворами, заметно прогреты (иногда до 70°C) и на многих участках (особенно на центральном и южном) пронизаны жерловинами крупных газовых выходов, большим количеством мелких сольфатарных отверстий и палящих трещинных зон.

В нескольких сотнях метров северо-восточнее основного (верхнего) сольфатарного поля, в долине руч. Кислый, расположен его нижний участок. Здесь на протяжении около 150 м по обоим бортам ручья, а также непосредственно в русле отмечается огромное количество рассредоточенных выходов парогазовых струй. Иногда это небольшие грязевые котлы, чаще сольфатарные проколы, инкрустированные на выходах игольчатыми кристалликами моноклинной серы. Присутствуют несколько бурлящих источников, открытых грифонов и ручьев (лимонитовый каскад).

Вулканические породы в районе сольфатарного поля залегают в виде пластов, падающих от вер-

шины вулкана на северо-восток под углами 18–23°. В пределах поля и в глубоких врезх долины руч. Кислый эти породы подверглись интенсивной гидротермальной переработке (до опалитов) параллельно поверхностям напластования. Первичные породы представлены андезибазальтами, размещающимися в подошве гидротермально измененного комплекса пород, и расположенной выше толщей дацитовых пирокластиков, в значительной степени опалитизированной и алунитизированной. Неизменные породы в пределах поля не встречаются, но на том же гипсометрическом уровне на северном склоне вулкана обнажаются их вероятные первичные аналоги – грубопирокластические породы дацитового состава.

В пределах поля в результате глубокой гидротермальной переработки вмещающие породы представлены белой и серой (до темно-серой) глинообразной массой с характерным раковистым изломом. В участках пропитывания термальными водами они приобретают сметанообразную консистенцию, вероятно (по нашему мнению), вследствие большой концентрации геля кремниевой кислоты. Белые и серовато-белые разности этих пород представляют собой чисто опаловые или опал-алунитовые метасоматиты. Серые и темно-серые разности являются теми же породами, но в различной степени обогащенными пиритом. Участки с максимальными содержаниями последнего (65–70%) представляют собой колчеданные метасоматиты.

По данным [Лебедев и др., 1980], в пределах поля широко развиты минеральные и рудные образования фации кипящих котлов, наложенные на метасоматиты. Кроме того, отчетливо отмечаются реликты седиментационных серных руд (с пиритом, опалом и алунитом) кратерно-озерного типа.

В результате длительной (порядка 3.5–4.0 тыс. лет после формирования вершинного дацитового купола) газогидротермальной деятельности сформировалось колчеданное месторождение. Сульфидное оруденение имеет здесь площадь не менее 5.5–6.0 км² и фиксируется до глубины 195 м. Представлено оно залежью сложного строения, в вертикальном разрезе (интервал 50–195 м) – чередующимися пачками опалитизированных и алунитизированных, в большей или меньшей степени обогащенных сульфидами пирокластических пород и линзами массивных колчеданов. Колчеданные проявления в пределах Северо-восточного сольфатарного поля представляют собой приповерхностные фации этой залежи. Здесь наряду с метасоматическими рудами широко развиты гидротермально-седиментационные образования фации кипящих котлов, представленные сажистыми и оолитовыми рудами.

Развитые в пределах Северо-восточного сольфатарного поля ртутные рудопроявления приурочены к зонам тектонических нарушений очень

молодого возраста (практически современного). Формирование этих рудопроявлений произошло уже после глубокой метасоматической переработки пирокластических пород и образования колчеданных метасоматитов. Следует подчеркнуть высокую селенистость киновари и ассоциирующих с ней дисульфидов железа и широкое развитие ртутно-селенистого сульфида онофрита.

Здесь следует отметить, что в апикальной зоне эндогенного окисления Гайского месторождения установлено столь же широкое разнообразие фациального состава и текстур руд и измененных пород, включая текстуры кипения сажистых сульфидов в серно-кварцевой сыпучке (см., например, рис. 218 и др. в [Малышев, 2015]), а также широкое распространение серно-селеновых пород вплоть до отложений самородного селена (см. рис. 225 и 237 в [Малышев, 2015]).

ВЫВОДЫ

Все сказанное позволяет рассматривать Северо-восточную серно-сульфидную залежь влк. Менделеева как возможный аналог зоны окисления Гайского месторождения и делает весьма интересным детальное исследование ее фациальных, текстурных и структурных особенностей в целях последующего сопоставления с их аналогами Гайской зоны окисления.

Исследования выполнены в рамках темы № АААА-А19-119072990020-6 государственного задания ИГГ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования / отв. ред. Г.М. Власов. М.: Наука, 1971. 360 с.
- Зайков В.В., Сергеев Н.Б. Зона гипергенеза серно-колчеданной залежи Гайского месторождения (Южный Урал) // Геол. рудн. месторождений. 1993. Т. 35, № 4. С. 320–332.
- Котенко Т.А., Калачева Е.Г., Котенко Л.В., Таран Ю.А. Сольфатарные газы вулканов Менделеева и Головинна в 2015 г. (о. Кунашир) // Вулканизм и связанные с ним процессы: мат-лы конференции. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 364–370.
- Лебедев Л.М., Зотов А.В., Никитина И.Б., Дуничев В.М., Шурманов Л.П. Современные процессы минералообразования на вулкане Менделеева (о-в Кунашир). М.: Наука, 1980. 176 с.
- Малышев А.И. К вопросу о генезисе зоны окисления Гайского медноколчеданного месторождения // Тр. Института геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого. Вып. 158. 2011. С. 164–168.
- Малышев А.И. Газовый фактор в эндогенных процессах. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2015. 324 с.
- Мархинин Е.К. Вулканы о-ва Кунашир // Тр. лаб. вулканол. АН СССР, 1959. Вып. 17. С. 64–155.
- Овчинников Л.Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. М., 1998. 411 с.