Тезисы доклада

**Дифференциация токсичных элементов в условиях литогенеза и техногенеза колчеданных месторождений**

Доктор геолого-минералогических наук Масленников Валерий Владимирович

Проект РНФ № 14-17-00691(Институт минералогии УрО РАН)

Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС) изучены концентрации химических микроэлементов в сульфидах древних и современных колчеданных месторождений Евразии, колчеданообразующих систем Тихого и Атлантического океанов. Рассмотрены поведение и формы нахождения токсичных элементов (Se, Te, As, Sb, Co, Ni, Pb, Cu, Cd, Mn, Hg, Mo, Bi, Sn, V, U, Ba) в условиях генерации колчеданообразующих флюидов, седиментогенеза, гальмиролиза, диагенеза, катагенеза, метаморфизма и субаэрального гипергенеза колчеданных месторождений в сопоставлении с современными гидротермальными системами.

Методом ЛА-ИСП-МС микрокартирования труб черных курильщиков установлено явление гидротермально-осадочной дифференциации элементов примесей с выделением высокотемпературных, среднетемпературных, низкотемпературных и гидрогенных ассоциаций микроэлементов. Показано, что основное количество токсичных микроэлементов (Tl, Pb, Ag, Pb, As, Sb) связано с низкотемпературными инкрустациями поверхности труб как современных, так и древних черных и серых курильщиков. Показано, что значительная часть токсичных элементов поступала в морскую воду в результате процессов подводного «выветривания» (гальмиролиза) колломорфного пирита и процессах его постседиментационной перекристаллизации..

Установлена закономерная смена содержаний и форм нахождения химических элементов в сульфидах в рядурудно-формационных типов колчеданных месторождений: атлантический (ультрамафитовый) → кипрский (базальтовый) → уральский (риолит-базальтовый) → понтийский и баймакский (базальт-риолитовый) → куроко и алтайский (андезит-дацит-риолитовый). В этом направлении в гидротермальном халькопирите (CuFeS2) на два-три порядка убывают содержания изоморфных форм Se, Sn, Te и Co. В сфалерите (ZnS) возрастают содержания Cd и Hg, на фоне известного уменьшения содержаний Fe. В пирите (FeS2) уменьшаются содержания Co, и значительно возрастают содержания потенциально высокотоксичных элементов Tl, Ag, As, Pb, и Hg). Показано, что содержания токсичных элементов в гидротермальных колчеданообразующих флюидах, зависят не только состава рудовмещающих пород. По данным физико-химического моделирования в программе «Селектор» (Karpov et al., 1997), на основе специальных оригинальных алгоритмов, разработанных в Институте минералогии УрО РАН (Третьяков, 2015) установлено, что по мере гидротермально-метасоматического «созревания » высокотемпературной (300°С) системы базальт/морская вода в гидротермальном флюиде последовательно снижаются содержания Fe, Сo, затем Cu, и возрастают содержания потенциально токсичных элементов (Tl, As, Sb, Pb, Ag и др.). В системе дацит/морская вода содержания токсичных элементов возрастают еще интенсивнее. Установлено, что обогащение гидротермальных флюидов Tl в гидротермальной системе морская вода/дацит на два порядка выше, чем в системе морскоая вода/базальт. Показано, что содержания токсичных элементов в гидротермальном флюиде зависят от «зрелости» рециклинговой гидротермально-метасомтической системы и значительно возрастают к концу процесса преобразования. Эти изменения сопряженные с нарастанием степени окисления газов (H2S, CH4, H2), необходимых для бактериального хемосинтеза. Сопоставление типохимизма халькопирита, сфалерита и колломорфного пирита с биопродуктивностью колчеданных месторождений показало максимальную токсичность Tl и Sb. При высоких содержаниях Sb и Tl (> 1000 г/т) в колломорфном пирите, находки оруденелой фауны в рудах древних колчеданных месторождений исчезают, а заселение современных “серых курильщиков” пригидротермальной фауной носит хаотический характер (Западная Пацифика). Гораздо меньше значение для заселения «курильщиков» пригидротермальной фауной имеет As (>2%), традиционно рассматриваемый как высокотоксичный элемент.

Несмотря на то, что токсичные халькофильные элементы в донных осадках озер доиндустриального этапа Урала входят в состав терригенной составляющей и обогащают продукты сульфидного диагенеза, в озерных осадках индустриального этапа наблюдаются гораздо более высокие техногенные концентрации Pb, Cu, Zn, Cd Bi, Se, Te, Tl, Sb, As , а также повышенные количества ацидофильных диатомей при угнетении других форм микробиоты. Установлено, что в озерных отложения горнопромышленных комплексов Урала, концентрации халькофильных элементов связаны не только с условиями техногенеза, но и зависят от изменений климата. Выявлено, что в результате потепления климата от позднеледниковья к голоцену возрастает интенсивность фотосинтеза и в осадке накапливаются карбонатофильные элементы (Ca, Sr), а также U, Mo и Se. Для халькофильных элементов (As, Cd, Bi, Sb, Tl, Cu, Zn, Pb, Sn) также, как и для литофильных элементов (Li, Rb, Cs, Be, Hf, РЗЭ, Al и др.), характеризующих интенсивность терригенного сноса, отмечается резкое уменьшение концентрации в начале голоцена в связи со снижением эрозии водосбора. Изменения диатомовой и геохимической летописи в ответ на антропогенное воздействие сравнимы по амплитуде с ответом озерной системы на такое глобальное климатическое событие, как переход от позднеледниковья к голоцену. Определение возраста донных отложений с помощью анализа вертикального распределения радиоактивного изотопа 210Pb, позволило сделать вывод, что резкое возрастание содержания As, Cd, Bi, Sb, Tl, Cu, Zn, Pb и Sn произошло в 1910 году, что соответствует времени начала работы Карабашского медеплавильного комбината.

В полупустынных почвах как Южного Казахстана, как и в горно-лесной зоне Южного Урала установлен универсальный характер техногенно-аккумулятивного типа накопления элементов (Cu, Zn, Pb, As, Cd) в виде ферритов и сульфидов в верхней части почвенного профиля. Установлено, что рассеивание твердой фазы пылевых выбросов в направлении господствующих ветров на горнодобывающих предприятиях Урала приводит к формированию аномальных по химическому составу почв. Для верховых торфяников Ю. Урала датированием по 210Pb обоснованы этапы 100-летней истории регионального горнопромышленного техногенеза с появлением максимальных концентраций Hg, Cd, Pb. Sn в периоды конвертирования медного штейна в технологическом цикле пирометаллургии меди. Для датированного по 210Pb верхового торфяника установлена корреляция между условиями торфонакопления и распределением микроэлементов в пределах природного и техногенного этапа развития экосистемы торфяника. Олиготрофная стадия торфонакопления характеризуется преимущественно атмосферным накоплением элементов при низком рН поровых вод. Для халькофильных элементов важным является интервал 0-30 см, отражающий этап горнопромышленного техногенеза с накоплением четырех типоморфных элементов – Cu, Zn, Pb и Cd. Типоморфными для процессов региональной атмосферной миграции в период техногенеза являются Cu, Zn, Pb, Cd, Se, Te, Bi, Sb, Sn. Изотопные отношения свинца свидетельствуют о росте радиогенного изотопа свинца в период горнопромышленного техногенеза.

Полученные результаты создают основу для разработки рекомендаций по рациональному использованию руд и отходов горно-обогатительного производства, а также позволяют оценить степень риска отработки колчеданных месторождений, принадлежащих к различным рудно-формационным типам.

Автор благодарит В.Н.Удачина, Г.А.Третьякова, А.В.Масленникову, Н.Р.Аюпову, И.Ю. Мелекесцеву и других участников проекта за помощь в работе