

**Барит-свинцовое оруденение
в рифовых известняках месторождения Ушкатын-III
(Центральный Казахстан): условия локализации, состав, генезис**

Месторождение Ушкатын-III находится в Центральном Казахстане в 300 км к западу от г. Караганда, в 15 км к северо-востоку от поселка Жайрем. Оно интересно тем, что здесь в пределах осадочных отложений близкого возраста и состава локализованы стратиформные залежи барит-свинцовых и железо-марганцевых руд. Пласты железных и марганцевых руд имеют гидротермально-осадочное происхождение [Каюпова, 1974; Рожнов, 1982]. В то же время, генезис барит-свинцовых руд вызывает дискуссию. Гидротермальное, наложенное на осадочные карбонатные породы, образование этих руд не вызывает сомнений. Спорными остаются возраст и геологическая обстановка развития гидротермальных процессов. Считается, что барит-свинцовые руды формируются либо одновременно [Скрипченко, 1989], либо намного позже железо-марганцевых отложений [Каюпова, 1974; Рожнов, 1982]. Но детально механизмы накопления барит-свинцовых руд и их генетические взаимоотношения с железными и марганцевыми рудами до недавнего времени не изучались. Другим вопросом, требующим объяснения, является почти полное отсутствие цинка в составе барит-свинцовых руд месторождения Ушкатын-III. В рудах большинства других генетически родственных объектов этого же региона свинец и цинк содержатся в сопоставимых количествах [Жайремский ГОК, 2015]. Начатые нами в 2016 г. исследования призваны восполнить отмеченные пробелы.

Месторождение локализовано в северо-западном борту эпиконтинентальной рифтогенной структуры (Жальминского грабена), в зоне фациального замещения континентальных терригенных отложений морскими карбонатными [Каюпова, 1974; Рожнов, 1982; Скрипченко, 1989]. Рудовмещающими являются породы верхнего девона. В северо-восточной части месторождения они представлены красноцветными песчаниками и алевролитами, на которых залегают линзы рифовых известняков и продукты их разрушения – известковые алевролиты, песчаники и брекчии. К этим породам приурочено барит-свинцовое оруденение. В южном и западном направлениях и вверх по разрезу рифогенные породы вытесняются органогенно-детритовыми слоистыми известняками, содержащими пласты железных и марганцевых руд.

Рифогенный комплекс состоит из фрагментов органогенных водорослевых построек и разделяющего их обломочного материала. Комплекс слагает шнуровидное линзовидное тело протяженностью 500 м, мощностью до 100 м, прослеживающийся на глубину до 600 м. В основании осадочных отложений установлен крупный конседиментационный разлом, ограничивающий один из уступов палеорифта. Барит-свинцовое оруденение почти полностью сосредоточено в рифогенных известняках. Руды слагают линзовидную залежь мощностью от 3 до 40 м, протяженностью почти 500 м. Внутри залежи барит-свинцовая минерализация распределена очень неравномерно, поэтому ее границы определяются по результатам опробования.

Главными минералами руд являются кальцит, барит и галенит, второстепенными – кварц, гематит, сфалерит, пирит, мусковит, шамозит, калиевый полевой шпат, альбит, доломит, родохрозит и флюорит, аксессуарными – серебро, рутил, ильменит, халькозин, акантит, халькопирит, пираргирит, тенантит, циркон, пирофиллит, апатит. В качестве гипергенных минералов установлены церуссит, пироморфит, каолинит, монтмориллонит и малахит. В зоне окисления

церуссит является одним из главных минералов. Текстуры руд послыбно-полосчатые, гнездо-видно-сетчатые, сплошные пятнистые, реже встречаются брекчиевидные, брекчиевые и прожилковые текстуры.

Строение руд свидетельствует о том, что осаждение барита, галенита и других минералов происходило в открытом поровом пространстве и при частичном растворении известняков вдоль пути просачивания металлоносных растворов. Текстурированный рисунок руд во многом контролируется геометрией распределения в известняках пористых участков, алевролитовых слоев, в том числе разделяющих интракластовые блоки, появившихся еще на стадии формирования рифовых построек, трещиноватых и брекчированных зон. То есть в период накопления рудного вещества карбонатные отложения были не полностью литифицированы, постседиментационная перекристаллизация кальцита и других минералов затронула не весь объем рифогенных отложений, и в них сохранялись проницаемые для гидротерм участки.

Значения $\delta^{34}\text{S}$ (VCDT) в барите варьируют от 9.3 до 15.3 ‰ (в среднем, 12.4 ‰), в сульфидном концентрате, состоящем преимущественно из галенита, варьируют от -25.7 до -12.6 ‰ (в среднем, -18.3 ‰). Такие соотношения изотопов указывают на образование барита при участии изотопно-тяжелой серы растворенного в морской воде сульфат-иона, а сульфидов – за счет обогащенного легким изотопом ^{32}S сероводорода, образующегося на стадии раннего диагенеза осадков в ходе бактериальной сульфат-редукции [Hoefs, 2018]. Величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ (VPDB) в кальците вмещающих руды известняков варьируют от -2.9 до 3.5 ‰ (в среднем, 0.2 ‰). Эти цифры свидетельствуют о том, что главным источником углерода для кальцита известняков служил бикарбонат морской воды. Вместе с тем, обращает на себя внимание наличие кальцита с отрицательными значениями $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$. В этих случаях в образовании карбонатов, помимо бикарбоната морской воды, принимала участие также и обогащенная легким изотопом углерода ^{12}C углекислота, выделяющаяся при разложении захороненного в осадке углеродистого органического вещества.

Барит-галенитовые руды образовались в приповерхностных условиях в период формирования рифовых построек или сразу после их отмирания и перекрытия более молодыми осадками. В пользу этого свидетельствует совокупность следующих фактов:

- узкий стратиграфический размах оруденения;
- стратиформный тип рудоносной залежи с локализацией барит-галенитовых скоплений почти исключительно в пределах линзовидных тел рифовых известняков;
- приуроченность рудных тел к зоне «активного» в период накопления осадков конседиментационного разлома, но отсутствие прожилкового или иного оруденения на участках поздних тектонических нарушений как подстилающих, так и (что особенно важно) перекрывающих месторождение пород;
- текстурный и структурный облик руд, свидетельствующий, во-первых, об отложении рудных минералов в еще не полностью консолидированных карбонатных отложениях, а, во-вторых, об образовании руд до начала складчатых деформаций осадочных толщ;
- изотопный состав серы и углерода, несущий признаки участия морской воды и раннедиагенетических бактериальных процессов в образовании барита и сульфидов.

В строении осадочной толщи месторождения Ушкатын-III проявлена латеральная зональность разновозрастных отложений с замещением рифового комплекса, вмещающего барит-галенитовые руды, пачкой слоистых известняков, содержащих пласты железных и марганцевых руд. Характерной особенностью всех пород железо- и марганценоносной пачки являются высокие концентрации Zn, Ba, Pb, As, Sr и Cd [Брусницын, 2020]. В известняках установлена вкрапленность галенита и сфалерита, а в железных и марганцевых рудах – минералов F, S, Zn, As, Sr, Ag, Sb, Te, Ba и Pb. Равномерное распределение микроэлементов в основной массе пород свидетельствует о накоплении их одновременно с формированием ру-

доносных отложений. Если полиметаллическая минерализация была поздней по отношению к железо-марганцевой, как это предполагали первые исследователи месторождения [Каюпова, 1974; Митряева, 1979; Рожнов, 1982], то трудно объяснить, почему обогащение редкими элементами происходило не по отдельным тектоническим нарушениям, а по всему объему уже сформировавшейся рудоносной пачки. В свою очередь, барит-галенитовые руды содержат минералы Fe и Mn – родохрозит, гематит, пирит и шамотит.

Пространственная и временная сопряженность, общие черты геохимии и минералогии рудняк барит-галенитовые, железные и марганцевые руды. Вероятнее всего, они начинали образовываться одновременно и являлись продуктами развития единой гидротермальной системы. Приуроченные к зоне конседиментационного разлома барит-галенитовые скопления в карбонатных рифовых постройках накапливались непосредственно на участке просачивания гидротерм, а расположенные на удалении от разлома железо- и марганценозные отложения представляют собой дистальные фации металлоносных отложений.

Несущие Ba, Pb, Zn, Fe и Mn растворы характеризовались низкими pH и Eh и не содержали серу. Разгрузка гидротерм происходит в результате снижения температур (при смешении гидротерм с морской водой), увеличения pH (за счет реакции раствора с карбонатными отложениями), увеличения Eh (за счет растворенного в морской воде кислорода), появления SO_4^{2-} (в составе морской воды) и H_2S (вырабатываемого в процессе бактериальной сульфат-редукции). Разделение элементов происходит из-за наличия градиента физико-химических параметров в области рудоотложения.

Барит и галенит осаждаются в умеренно восстановительных обстановках при почти равных и низких концентрациях сульфат- и сульфид-ионов в растворе. Однако подобные условия не являются геохимическим барьером для сульфидов Zn, Fe и Mn. Для образования сфалерита требуются почти на три порядка более высокие концентрации сульфидной серы, чем для кристаллизации галенита. Этот момент имеет принципиальное значение. Нет оснований считать, что, в отличие от других месторождений данного региона, ушкатынские руды образуются за счет каких-то «особых» гидротерм, специализирующихся именно на Pb. Кроме того, в марганцевых рудах и вмещающих их известняках самого месторождения Ушкатын-III средние отношения Zn/Pb варьируют от 1/1 до 460/1. То есть, Zn был в рудообразующей системе, но из-за низких концентраций H_2S отсутствовали условия для массового осаждения сфалерита. Еще более высокие, чем для сфалерита, концентрации H_2S необходимы для кристаллизации сульфидов Fe и Mn. Поэтому, также как и Zn, эти металлы сохранялись в растворе и покидали область рудоотложения. В дальнейшем, Fe и Mn накапливаются в окислительных условиях, а Zn рассеивается в окружающей среде.

Таким образом, приуроченность барит-свинцовых залежей к краевой части палеоконтинентального рифа, локализация среди карбонатных отложений, явные признаки гидротермального наложенного на вмещающие породы происхождения рудной минерализации при отсутствии большого временного интервала между породо- и рудогенезом, высокие содержания в рудах сульфидной составляющей, негативные значения $\delta^{34}S$ в сульфидах объединяют месторождение Ушкатын-III с месторождениями так называемого ирландского типа. Последние в настоящее время рассматриваются как промежуточные по условиям и механизмам формирования между месторождениями SEDEX (*Sedimentary exhalative*) и MVT (*Mississippi Valley-type*) типов [Wilkinson, 2014]. Особенность объектов всех перечисленных типов состоит в том, что они образуются за счет растворов, циркулирующих в осадочных толщах, а вклад магматических (главным образом, вулканических) процессов, если и проявлен, то сводится к поставке тепла, активизировавшего гидротермальную систему. Растворы формируются при участии захороненных эвапоритовых рассолов, а главным источником рудных элементов служат обломочные красноцветные отложения. Однако от эталонного для ирландского типа

месторождения Лишен (*Lisheen*) месторождение Ушкатын-III отличается высокими содержаниями барита, очень низкими – сфалерита, а, кроме того, барит-галенитовое оруденение здесь сопровождается крупными залежами гидротермально-осадочных руд Fe и Mn. Таким образом, месторождение Ушкатын-III имеет свою ярко выраженную специфику и может быть выделено в особый тип, объединяющий приповерхностные гидротермальные ($BaSO_4$ -Pb) и гидротермально-осадочные (Fe-Mn) залежи.

Литература

Брусницын А.И. Геохимия марганценосных отложений месторождения Ушкатын-III, Центральный Казахстан // Металлогения древних и современных океанов-2020. Критические металлы в рудообразующих системах. Миасс: Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, 2020. С. 41–45.

Жайремский горно-обогатительный комбинат. Годовой отчет за 2015 год. Издательство АО ЖГОК, 2015. 103 с.

Каюпова М.М. Минералогия железных и марганцевых руд Западного Атасу (Центральный Казахстан). Алма-Ата: Наука, 1974. 232 с.

Митряева Н.М. Минералогия барит-цинково-свинцовых руд месторождений Атасуйского района. Алма-Ата: Наука, 1979. С. 219.

Рожнов А.А. Сравнительная характеристика марганцевых месторождений Атасуйского и Никопольско-чапурского типов // Геология и геохимия марганца. М.: Наука, 1982. С. 116–121.

Скрипченко Н.С. Прогнозирование месторождений цветных металлов в осадочных породах. М.: Недра, 1989. 207 с.

Hoefs J. Stable isotope geochemistry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2018. 437 p.

Wilkinson J.J. Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives // Treatise on geochemistry. Second edition. Vol. 13. Amsterdam: Elsevier, 2014. P. 219–250.

Н.П. Сафина, И.Ю. Мелекесцева, Н.Р. Аюпова

Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии,

Институт минералогии, г. Миасс,

safina@ilmeny.ac.ru

Минералого-геохимические особенности пиритовых конкреций рудных диагенитов колчеданных месторождений Урала

Пиритовые конкреции широко распространены в колчеданных месторождениях Урала. Они встречаются в околорудных вулканогенно-осадочных породах (черные сланцы, госсаниты и др.) и рудных диагенитах – тонкослоистых рудах, преобразованных в условиях диагенеза и обогащенных пиритом, халькопиритом, пирротинном, галенитом, сфалеритом, магнетитом, гематитом [Maslennikov et al., 2019]. В настоящей работе приведены результаты сравнения морфологии и минералого-геохимических особенностей конкреций пирита из рудных диагенитов слабометаморфизованных колчеданных месторождений, принадлежащих различным рудно-формационным типам и ассоциирующих с различными фоновыми осадками: Сафьяновское (черные сланцы, рудно-алтайский), Талганское (гиалокластиты, уральский) и Дергамышское (серпентиниты, атлантический).

Сафьяновское медно-цинково-колчеданное месторождение расположено в Режевском рудном районе на Среднем Урале, в пределах Восточно-Уральского поднятия. Рудовмещающей является толща дацитов и риолитов среднего девона с прослоями вулканогенно-осадочных пород и черных сланцев мощностью до 500 м [Язева и др., 1991]. Месторождение вклю-