

**«РОЛЬ СОВРЕМЕННОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК БАРИТ-
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ»**

Попов Ю.В., Цицуашвили Р.А.

Институт наук о Земле Южного федерального университета, Россия

Окисляющиеся руды являются источником растворов, насыщенных широким спектром элементов, выступающих в роли загрязнителей природных ландшафтов. Закономерности миграции элементов и их соединений определяются сочетанием ряда ландшафтно-геохимических особенностей, и в первую очередь типом и эффективностью физико-химических барьеров. Характер последних, в свою очередь, в природно-технических системах горных выработок в определяющей мере зависит от геологического строения и состава вмещающих пород.

Объектом изучения послужили подземные горные выработки Белореченского барит-полиметаллического месторождения расположенного в горной части Республики Адыгея на Большом Кавказе. Система подземных горных выработок пройдена в кристаллических породах (местами вскрывая зоны контакта с юрскими аргиллитами) в 1960-80-х годах. С начала 1990-х годов месторождение не эксплуатируется. Часть выработок не законсервирована; через них и прилегающие щебеночно-глыбовые отвалы интенсивно дренируются воды.

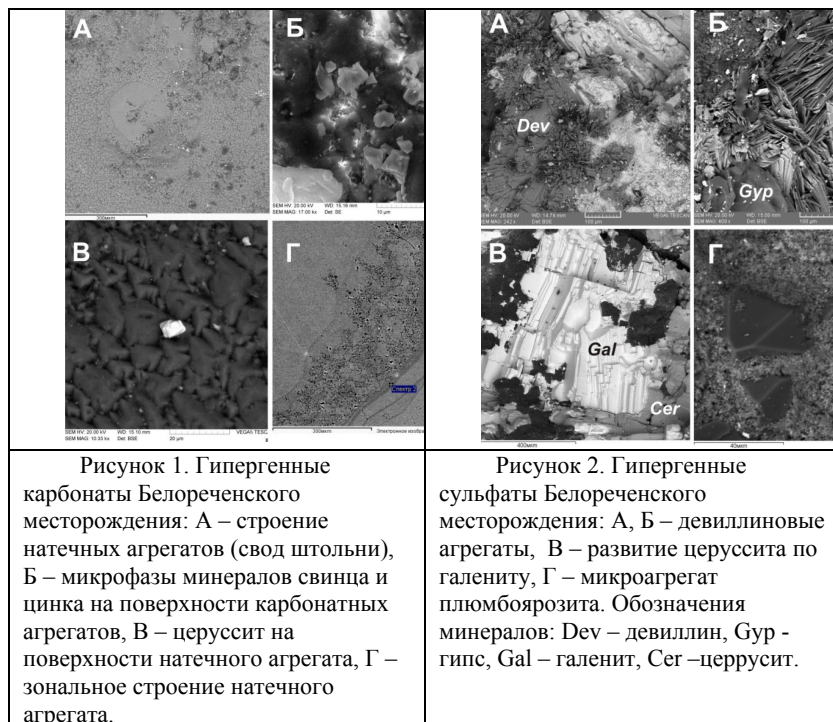
Белореченское месторождение образует верхний уровень сложного горно-рудного объекта, нижние горизонты которого соответствуют Даховскому урановому месторождению (с уран-сульфидной и уран-арсенидной минерализацией в доломитовых жилах и линзах). Рудные тела Белореченского месторождения представлены жилами барита (барит содержит примеси Sr (до 0,2-5%), Ca (до 0,5%) и Pb (до 0,1%)), в массе которого присутствуют несколько генераций флюорита, галенит (с примесями Ag до 0,8% и Sb до 0,5%), сфалерит, халькопирит, пирит.[1] Поздняя генерация баритовых жил несет непромышленную полиметаллическую минерализацию, приобретая галенит-баритовый с флюоритом состав. Завершают формирование месторождения пирит-кальцитовые и марказит-кальцитовые жилы. Основная часть оруденелых жил локализована в интенсивно мусковитизированных гнейсах и гранито-гнейсах, развитых между герцинскими гранитами и меланократовой амфиболитово-гнейсовой толщей. Тектонический блок, вмещающий месторождения, по разломам граничит с подстилающими серпентинитами и перекрывающими юрскими аргиллитами. Широкое развитие трещин разного порядка, определяемое приуроченностью к зоне крупного длительно развивавшегося Центрального разлома, обеспечивает как проницаемость для глубинных флюидов [2], так и интенсивную циркуляцию гипергенных растворов.

Изучение гипергенных минеральных ассоциаций в пределах горных выработок указывает на дифференцированное осаждение металлов на естественных физико-химических барьерах, часть которых выступает в роли промежуточных концентраторов металлов в микроминеральных формах. Окисление пиритовых жил сопровождается частичной нейтрализацией растворов кальцийсодержащими гипергенными водами, проявленной в развитии гипса и водных сульфатов двухвалентного железа (мелантерита и пр.) и приводящей к концентрированию фаз микронной размерности сернистого серебра (акантита) на поверхности разлагающихся минералов. Участки выхода фильтрующихся по зонам трещиноватости в силикатных породах кислых вод (с pH ~2) трассируются на сводах и стенках горных выработок выделением гелей, за счет которых образуются оксигидраты железа, с которыми ассоциируют частички сернистого серебра микронной размерности. Энергетические рентгенофлуоресцентные спектры поверхности агрегатов указывают на присутствие меди, цинка, марганца, свинца, не образующих самостоятельных фаз (что позволяет предполагать сорбирование на поверхности оксигидридов железа). Неустойчивость оксигидратовой ассоциации в условиях кислой среды позволяет рассматривать участки формирования оксигидратов железа как промежуточный физико-химический барьер на пути миграции тяжелых металлов.

Главными геохимическими барьерами выступают щелочной, связанный с участком осаждения из гипергенных водных растворов карбонатов (обладающих эффективным pH-буферизирующим потенциалом по отношению к продуктам разложения сульфидов) и сульфатный, приуроченный к зонам окисления баритовых жил. Каждый из этих барьеров характеризуется специфическими микроминеральными ассоциациями.

Натечные карбонатные образования на сводах и стенах горных выработок обладают микрокристаллической структурной; в основной кристаллической массе выделяются капилляры, выполненные ещё более тонким, вплоть до амфорного, карбонатом (рисунок 1-А). Агрегаты зональные: на поверхности представленные щётками микрокристаллов, во внутренних зонах – массивные, с выраженными зонами нарастания. По результатам рентгенофазового анализа карбонат является кальцитом (при отсутствии арагонита). Данные дифференциального термического анализа указывают на присутствие нескольких генераций кальцита (отвечающих эндотермическим эффектам) и (в части проб) на наличие экзотермического эффекта кристаллизации аморфного карбоната. Химический состав зон существенно не меняется; типичными примесями являются магний (~0,5 %, мас.), стронций (~0,2 %), цинк (~0,1 %), изоморфно входящие в кальцит. С карбонатными агрегатами парагенетически связан ряд минералов тяжелых металлов, образующих обильные микрофазы (размером преимущественно до 50 мкм) на поверхности натечных образований. Здесь отмечаются оксигидраты железа, кальцийсодержащий барит, англезит, смитсонит, а также недиагностируемые уверенно по результатам микроанализа сульфаты и карбонаты цинка и свинца (рисунок 1-Б). Судя по составу микроминеральных фаз, образование кальцита обуславливает, в первую очередь, соосаждение соединений железа, цинка и свинца (в меньшей степени меди и других металлов). Можно предполагать, что последующее перераспределение катионов определяется кристаллохимическими особенностями: ограниченная смесимость возможна между тригональными $ZnCO_3$ и $CaCO_3$, но кальцитовый состав ограничивает вхождение ромбического $PbCO_3$ («удобного» для структуры арагонита). Данное предположение может служить объяснением постоянного присутствия в гипергенном кальците изоморфной примеси цинка и отсутствия примеси свинца (фиксируемого при этом в виде микрофаз церуссита на поверхности кальцитовых агрегатов.[3] Таким образом, карбонатный щелочной барьер можно рассматривать в качестве зоны концентрирования металлов, сопровождающегося связыванием в устойчивых минеральных фазах цинка, стронция и бария и последующим выносом части металлов (железа, меди, свинца).

Ещё один эффективный геохимический барьер связан с участком микротрещиноватости и полостям баритовых жил, где формируются сульфатные ассоциации (рисунок 2). Наиболее распространенными минералами являются гипс (образующий корочки, присыпки и микрокристаллы в тонких трещинах и полостях), сульфаты меди – брошантит, серпьерит и девиллином, а также часто с ярозитом-плюмбоярозитом, гемиморфитом, брошантитом, мелантеритом. Парагенезис указывает на участие в формировании гидрокарбонатов щелочных металлов. За счет присутствующего в баритовых жилах галенита образуется англезит, развивающийся на поверхности последнего, либо выполняющий пустоты (ассоциируя в этом случае с плюмбоярозитом и гемиморфитом). В ассоциации с сульфатами отмечаются гемиморфит, минералы глины и гидрогетит.



Таким образом, горные выработки барит-полиметаллических месторождений являются природно-техническими системами с активной миграцией широко спектра элементов, дифференцированно осаждаемых на нескольких типах физико-химических барьеров. В условиях силикатных вмещающих пород и поступления близнейтральных или слабощелочных кальцийсодержащих вод наиболее эффективны окислительный оксигидратный, щелочной карбонатный и сульфатный барьеры, дифференцированно осаждающие металлы. При этом выявляются несколько механизмов связывания металлов в устойчивые минеральные фазы: изоморфное вхождение в ходе кристаллизации, соосаждение в разных минеральных фазах, сорбирование с последующим разрушением комплексов сорбата и перераспределением металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пеков И.В. Левицкий В.В. Кривовичев В.Г. Минералогия Белореченского месторождения. Минералогический альманах, том 15, вып. 2, 2010.
2. Труфанов В.Н., Попов Ю.В., Цицуашвили Р.А., Труфанов А.В., Гончаров А.Б. Родингиты Даховского кристаллического массива (Северо-западный Кавказ) // Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, Ростов-на-Дону, 2011 г., №. 5. С. 73-77.
3. Попов Ю.В. Современное минералообразование и сорбционные процессы на карбонатном барьере в горных выработках барит-полиметаллического месторождения // Геология, ресурсы, производство, экология. Материалы Всероссийской научно-практической конференции посвященной 100-летию С.М.Абаева. – Владикавказ: СОГПИ. 2013. С.77-82.