

ВИСМУТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В РУДАХ Pb-Zn МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖИМИДОН (СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ)

Е.О. Грознова, М.Г. Добровольская, В.А. Коваленкер, А.И. Цепин, М.В. Разин

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, geo@igem.ru

Месторождение Джимидон является новым объектом в Садонском рудном районе (Северная Осетия — Алания). В результате исследований минералого-геохимических особенностей руд в месторождении впервые обнаружена и детально изучена висмутовая минерализация, представленная широким спектром Pb, Bi, Ag, S-содержащих минералов. Показаны соотношения ее с другими по составу минеральными ассоциациями в общей схеме последовательности рудоотложения. Выявлены пространственные закономерности проявления висмутовой минерализации в рудах месторождения. В статье 1 таблица, 5 рисунков, список литературы из 13 названий

Месторождение Джимидон, открытое в конце 70-х годов, принадлежит к группе широко известных Pb-Zn месторождений Садонского рудного района (Северная Осетия-Алания). Оно расположено в бассейне реки Ардон.

Месторождения свинца и цинка в Северной Осетии известны с давних времен. Изучение и разработка их начались с 1853 года. Многие геологи (Ажгирей, 1958; Варданыц, 1935; Гурбанов, Замбагов, 1978; Давыдов, Грановский, 1985; Добровольская, 1987, 1989; Некрасов, 1980; Черницын, 1985; Хетагуров, Катова 1972; Константинов и др., 2003, 2004 и др.) проводили детальные исследования по геолого-структурной позиции месторождений, их минеральному составу и геохимическим особенностям руд, а также условиям образования. Интерес к этим месторождениям вновь возник с момента открытия в конце 70-х годов и последующей разведки и обработки руд месторождения Джимидон, представленного рудными зонами Бозанг и Восточный Джимидон (рис. 1).

Геологическая позиция месторождения

Садонский рудный район занимает область между горст-антиклинорием Главного Кавказского хребта и Дарьяло-Богосским поднятием, частью которого является Садонно-Унальская горст-антиклиналь, контролирующая размещение основных промышленных месторождений района. Джимидонское рудное поле расположено в пределах одноименного поднятия, являющегося крайним восточным блоком-сегментом Садонно-Унальской горст-антиклинали. В строении месторождения Джимидон участвуют разновозрастные комплексы пород, слагающие два структурных этажа, разделенных поверхностью регионального несогласия. Нижний

структурный этаж сложен глубоко метаморфизованным комплексом пород буронской свиты (верхний протерозой — нижний палеозой), прорванных верхнепалеозойскими гранитоидами. Буронская свита обнаруживает отчетливо выраженное двучленное строение, обусловленное преимущественным развитием в ее основании роговообманковых амфиболитов, которые вверх по разрезу постепенно сменяются различными по составу кристаллическими сланцами. На породах кристаллического субстрата, с базальными конгломератами в основании, залегают нижнеюрские терригенные отложения верхнего структурного этажа. Значительная роль в строении участка месторождения принадлежит магматическим образованиям юрской вулканоплутонической ассоциации, представленной последовательным рядом: от излившихся фаций покровных андезитов (осетинский вулканогенный комплекс) до субвулканических и гипабиссальных фаций диоритов, гранит-порфиров и трахиандезитов (ардон-ногкауский комплекс).

В структурном отношении Джимидонское рудное поле приурочено к одноименному поднятию, представляющему собой довольно простую антиклинальную структуру, в ядре которой обнажаются метаморфические породы фундамента, а на крыльях развиты образования верхнего структурного этажа. По серии поперечных нарушений поднятие разбито на отдельные блоки, придающие структуре мозаичное строение.

Месторождение Джимидон является представителем слепого типа оруденения (Константинов и др., 2003), основной объем промышленных руд которого сконцентрирован в рудных телах, локализованных среди пород доюрского фундамента. Наиболее благоприятными являются породы метаморфического комплекса буронской свиты (рис. 1). При переходе в породы верхнего структурно-



Рис. 1. Схематическая геологическая карта Джимидонского рудного поля. (По К.В. Давыдову с некоторыми изменениями) 1 – известняки, доломиты (J_1ox), 2 – песчаники, алевролиты, глины, известняки (J_2), 3 – аргиллиты, прослои песчаников ($J_{1,2}$ – J_3a), 4 – глинистые сланцы, алевролиты, прослои песчаников ($J_{1,2}$), 5 – песчаники, алевролиты ($J_{1,2m}$), 6 – конгломераты (J_1^1). Буронская свита: 7 – кристаллические сланцы, амфиболиты (PR_3 – PZ_{br}), 8 – граниты крупнозернистые (PR_3). Юрская вулканоплутоническая ассоциация: 9 – лавы андезитов и их туфы (vJ_{os}), 10 – трахиандезиты ($таJ_3$), 11 – рудные зоны: 1 – Бозанг, 2 – Цагарсар, 3 – Восточный Джимидон; 12 – разрывные нарушения: взбросы (a), сбросы (b), разломы (c): I – Первый поперечный сброс, II – Второй поперечный сброс, III – Восточно-Джимидонский сброс, IV – Западно-Джимидонский сброс, V – Агшартырагский взброс, VI – Садоно-Унальский сброс, VII – Широкий разлом, VIII – Цамагонский взброс, IX – Цагадонский сброс, X – Дагомский сброс; 13 – предполагаемые геологические границы, 14 – надвиги

го этажа рудные тела трансформируются в зоны рассредоточенного окварцевания и хлоритизации, сопровождаемые рассеянной сульфидной минерализацией. Установленный вертикальный размах оруденения составляет не менее 300–350 м. Морфология рудных тел определяется строением дорудной структуры и компетентностью вмещающих пород. Преобладают жильные плитообразные рудные тела, нередко сопровождаемые ореолом прожилково-вкрапленного оруденения. По восстановлению морфология рудных тел сохраняется. При этом значительное влияние на положение рудных тел оказывают пострудные смещения, амплитуда которых колеблется в широких пределах: от долей метра до 30–40 м.

Минеральные ассоциации и последовательность рудообразования

Макроскопическое и микроскопическое изучение представительных образцов месторождения Джимидон из рудных зон Бозанг (штольня 47, Северный, Южный и Основной штреки, штольня 3, Южный штрек и штольня 8) и Восточный Джимидон (скв. 045, 047, 061, 061А и др.) позволили выделить главные минеральные ассоциации и представить схему последовательности минералообразования. Основанием для распознавания возрастных соотношений минеральных агрегатов служили текстурные и структурные признаки, изменение химического состава одного и того же минерального индивида, в частности сфале-

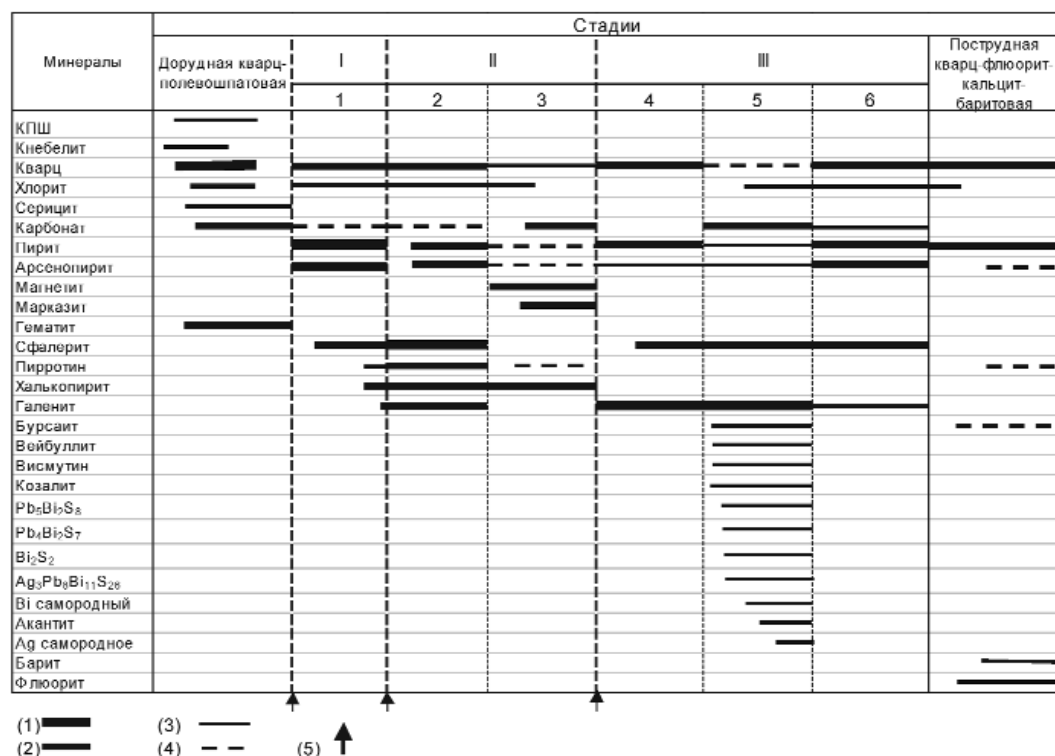


Рис. 2. Схема последовательности минералообразования месторождения Джимгон. Стадии: I — кварц-пирит-арсенопиритовая, II — кварц-карбонат-пирит-пирротин-халькопирит-сфалеритовая, III — кварц-кальцит-арсенопирит-сфалерит-галенитовая; ассоциации: 1 — кварц-пирит-арсенопиритовая, 2 — кварц-галенит-пирротин-халькопирит-сфалеритовая, 3 — кварц-карбонат-пирит-марказит-магнетитовая, 4 — кварц-халькопирит-галенит-сфалеритовая, 5 — акантит-висмутин-козалит-галенитовая, 6 — кварц-пирит-арсенопиритовая. Минералы: (1) — главные, (2) — второстепенные, (3) — редкие, (4) — переотложенные,

рита, присутствующего в разных ассоциациях, и флюидный режим рудообразующей системы.

В результате обобщения полученных данных выделены четыре стадии рудообразования: 1) кварц-пирит-арсенопиритовая, 2) кварц-карбонат-пирит-пирротин-халькопирит-сфалеритовая, 3) кварц-кальцит-арсенопирит-сфалерит-галенитовая, 4) кварц-флюорит-кальцит-баритовая. Каждая из этих стадий представлена одной или несколькими минеральными ассоциациями (рис. 2).

Рудоотложению предшествовала дорудная стадия, в течение которой отлагались, главным образом, кварц, калиевый полевой шпат, хлорит, серицит. Образование кнебелита, встречающегося в виде ксенолитов в рудах, также можно отнести к этой стадии. Минеральные агрегаты дорудной стадии местами были раздроблены, брекчированы вследствие тектонических движений, имевших место в начале рудоотложения.

В первую стадию на фоне неспокойной тектонической обстановки отлагалась

кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация, местами со сфалеритом I. Минеральные агрегаты этих ассоциаций слагают прожилки, пятнисто-прожилковые обособления, реже встречаются в виде сплошных руд. Кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация с преобладанием либо пирита, либо арсенопирита, развита в рудных телах неравномерно, но взаимоотношения ее с более поздними минералами однозначны. Кварц, пирит и арсенопирит брекчированы, катаклазированы, трещиноваты: трещины заполнены сфалеритом, халькопиритом, пирротин, галенитом, кварцем, образующими следующую по времени отложения ассоциацию, относящуюся ко второй стадии. Ассоциация наблюдается не повсеместно. В отдельных участках количества слагающих ее минералов меняются. Так, в одних участках в ассоциации преобладают пирротин и халькопирит, образующие сростания, в других — халькопирит и сфалерит, а также пирит второй генерации. Сфалерит в этой ассоциации содержит обильные включения халь-

копирита и пирротина, характерные для сфалерита II.

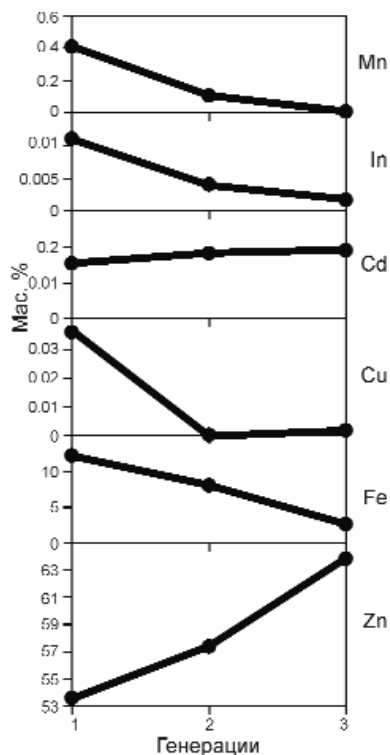
Кварц-галенит-пирротин-халькопирит-сфалеритовая ассоциация второй стадии является основной в рудах. После ее образования вследствие неспокойной тектонической обстановки в минеральных агрегатах этой ассоциации возникли деформации (локальное дробление и будинирование агрегатов, изогнутые и смещенные двойники в пирротине и сфалерите и т. д.). Следует заметить, что галенит при этом не претерпел деформаций, что указывает на его более позднюю кристаллизацию.

Галенит, пирротин, халькопирит и сфалерит образуют сростания, иногда с признаками более раннего отложения сфалерита. Особенность данной ассоциации заключается в изменчивых соотношениях кварца и сульфидов, иногда она представлена лишь кварцем с розетками хлорита и сфалеритом II без участия других сульфидов. Кварц-сфалеритовые агрегаты слагают прожилки или образуют скопления в зальбандах рудных тел.

В конце второй стадии резко изменились условия, повысилась активность серы и кислорода, в результате чего произошла дисульфидизация пирротина и образование карбонат-пирит-марказит-магнетитовой ассоциации, которая, вероятно, является реакционной, возникшей на границе двух стадий рудоотложения. Пирит и марказит интенсивно развивались по пирротину, иногда вместе с магнетитом и сидеритом. В отдельных участках магнетит (мушкетовит) замещал гематит.

Третья стадия — кварц-кальцит-арсенопирит-сфалерит-галенитовая представлена тремя минеральными ассоциациями: кварц-халькопирит-галенит-сфалеритовой, местами с пирротинном, акантит-висмутин-козалит-галенитовой и кварц-пирит-арсенопиритовой. Кварц-халькопирит-галенит-сфалеритовая ассоциация, иногда с кальцитом и пирротинном, встречается повсеместно и, главным образом, в центральных частях рудных тел. В отличие от ранней ассоциации, с близким названием, в поздней ассоциации пирротин не подвергся дисульфидизации. Доминирующей в ассоциации сфалерит III содержит неравномерно распределенные включения халькопирита, но существенно в меньших количествах. С третьей стадией связана кристаллизация маложелезистого сфалерита, ассоциирующего с галенитом, кварцем и кальцитом.

Акантит-висмутин-козалит-галенитовая ассоциация распространена в рудах локаль-



(5) — разрывные нарушения

Рис. 3. Графики, показывающие средние содержания элементов-примесей в сфалерите разных генераций. Генерация I (24 анализа), генерация II (9 анализов),

но. Она обнаружена в штольне 47 и в ряде скважин: 045, 047, 061, 061А, 076. Для нее характерны фациальные различия. В одних участках развита Ag-Pb-Bi-ассоциация с галенитом, самородным висмутом, сульфидами и сульфосолями Pb и Bi, в других — самородное серебро, акантит и галенит. Висмутовые минералы замещают ранние сульфиды: пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, ассоциируют с кварцем и кальцитом.

Минеральные агрегаты кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциации третьей стадии выполняют прожилки, минералы этой ассоциации образуют метакристаллы. Пирит и арсенопирит образуют в виде кокард кварц, секут минеральные агрегаты ранних стадий, встречаются в виде метакристаллов в сфалерите, халькопирите, галените. Среди сульфидов часто наблюдаются метакристаллы кварца.

Четвертая стадия — кварц-флюорит-кальцит-баритовая завершает процесс минералообразования. В эту стадию отлагались кварц-кальцитовые прожилки, секу-

Таблица 1. Химический состав минералов висмута из руд месторождения Джимидон, мас.%

№ п/п	№ обр.	Местонахождение	Pb	Bi	S	Fe	Ag	Sb	Se	Zn	Cu	Сумма	Минерал
1	3-8а	Бозанг, шт.3	84.43	1.35	13.37	—	0.46	0.00	0.47	—	0.02	100.10	галенит
2	1.8	В.Джимидон, скв. 061А-220.5	70.24	14.09	13.91	0.06	0.30	0.00	0.28	0.00	0.07	98.95	Ві-галенит
3	3-8а	В.Джимидон, скв. 061А-220.5	68.42	15.10	14.80	—	0.48	0.04	0.57	—	0.11	99.52	Ві-галенит
4	1.3	В.Джимидон, скв. 061А-219.6	63.60	21.03	13.50	1.02	0.25	0.00	0.26	0.03	0.08	99.77	беегерит
5	1.3	В.Джимидон, скв. 061А-219.6	59.06	26.89	11.05	0.34	2.00	0.09	0.26	0.05	0.00	99.74	гунгаррит
6	1.1	В.Джимидон, скв. 061А-220.5	50.86	34.84	13.50	0.09	0.43	0.00	0.23	0.04	0.00	99.99	лиллианит
7	3-8а	Бозанг, шт.3	44.19	37.36	15.78	—	1.48	0.01	0.50	—	0.11	99.43	бурсаит
8	3-8а	Бозанг, шт.3	39.33	42.22	16.60	—	0.62	0.00	0.23	—	0.81	99.81	козалит
9	1.6	В.Джимидон, скв. 061А-219.6	37.86	44.91	15.42	0.09	0.25	0.04	0.20	0.04	0.00	98.81	козалит
10	47-43	Бозанг, шт.47	37.58	44.74	15.28	—	2.63	—	—	—	—	100.24	козалит
11	47-43	Бозанг, шт.47	34.68	47.61	15.58	—	1.90	0.00	0.10	—	0.30	99.35	вейбуллит
12	47-43	Бозанг, шт.47	33.78	48.04	16.70	—	1.30	0.00	0.10	—	0.00	100.16	вейбуллит
13	47-43	Бозанг, шт.47	32.31	47.76	15.97	—	5.60	0.00	0.10	—	0.40	98.24	Ag ₂ Pb ₂ Bi ₁₀ S ₂₆
14	1.9	В.Джимидон, скв. 061А-220.5	22.18	61.14	15.75	0.03	0.18	0.10	0.11	0.04	0.04	99.57	галенобисмутит
15	5	В.Джимидон, скв. 061А-220.5	5.56	75.72	18.26	0.20	0.02	0.10	0.00	0.04	0.00	99.96	висмутин
16	8.2	В.Джимидон, скв. 061А-219.6	0.00	81.06	18.51	0.11	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	99.81	висмутин
17	1.7	В.Джимидон, скв. 061А-219.6	7.93	89.19	1.43	1.11	0.02	0.00	0.07	0.04	0.06	99.89	Ві сам.
18	47-43	Бозанг, шт.47	0.86	96.08	0.15	—	0.00	0.00	0.00	—	0.80	98.49	Ві сам.
19	2.4	В.Джимидон, скв. 061А-219.6	0.00	99.56	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	99.71	Ві сам.
20	47-43	Бозанг, шт.47	0.70	83.24	12.81	—	0.10	0.00	0.10	—	0.60	98.96	Ві ₂ S ₂

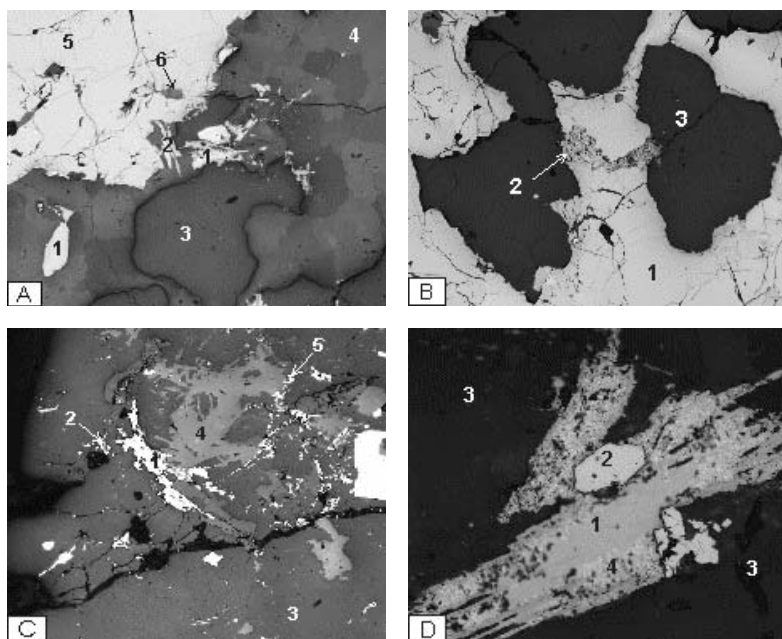
Примечание: прочерк — элемент не определялся. Анализы выполнены в лаборатории ИГЕМ РАН на микрозонде SX-50, аналитик А.И. Целин

щие минеральные агрегаты ранних стадий. В одних прожилках преобладает кварц, в других — кальцит, иногда присутствуют барит и флюорит. Эти минералы слагают также самостоятельные жилы, мощностью 20-30 см, за пределами основных рудных тел. Некоторые жилы сложены микроклином и кальцитом.

Выделенные минеральные ассоциации, текстурный и структурный анализ руд указывают на прерывисто-непрерывный процесс поступления гидротермального раствора, что привело к кристаллизации минералов одного вида (кварца, пирита, арсенопирита, сфалерита, пирротина, халькопирита, галенита) в разных по времени образования минеральных ассоциациях и в пределах разных стадий. Периодичность в образовании ранней

и поздней ассоциации, в частности кварц-пирит-арсенопиритовой, служит признаком стадийного формирования рудных тел (Добровольская, 1989). Последовательность рудоотложения подтвердилась также изменением химического состава сфалерита. Аналитические данные показали, что сфалерит I обогащен железом (9.55-15.48 мас.%) и марганцем, в сфалерите II содержание железа варьирует от 5.8 до 9.96 мас.%, третья генерация сфалерита представлена низкожелезистым (0.73-3.88 мас.%) клейофаном, с содержанием кадмия до 0.3 мас.% (рис. 3).

Результаты термо-криометрического изучения флюидных включений в сфалерите, кварце и карбонате из рудных тел также позволяют представить общие черты флю-



генерация III (14 анализов)

Рис. 4. Формы выделений висмут-содержащих минералов. Полированные шлифы. Увеличение 160 (а,с), 200 (b), 250 (d)

а – тонкопластинчатые агрегаты висмутита (1) (табл.1, ан. 15), галенобисмутита (2) (табл.1, ан. 14) в кварце (3) и кальците (4) в ассоциации с арсенопиритом (5) и пирротин (6); б – пирротин (1) с прожилком неоднородного по составу Bi-содержащего минерала (2), кварц (3); в – агрегат игольчатых и пластинчатых выделений висмутита (1) (табл. 1, ан. 16) и козалита (2) (табл.1, ан. 9) среди кварца (3) и карбоната (4), мелкие включения в кварце – самородный висмут (5); д – козалит (1) в кварце (3) в ассоциации с поздним арсенопиритом (2). По краям козалита (табл. 1, ан. 10) развивается самородный висмут (4) (табл. 1, ан. 18) и

идного режима формирования минеральных ассоциаций месторождения Джимидон. Рудоотложение происходило из гидротермальных растворов преимущественно натриево-хлоридного состава с примесями других компонентов в широком диапазоне концентраций от 18 до 0.5 мас.% экв. NaCl при давлении не более 400 – 300 бар. В каждой рудной стадии процесс минералообразования начинался с более высоких температур (250-350°C), к концу процесса температуры снижались до 120–150°C. Эти данные также подчеркивают пульсационный характер процесса.

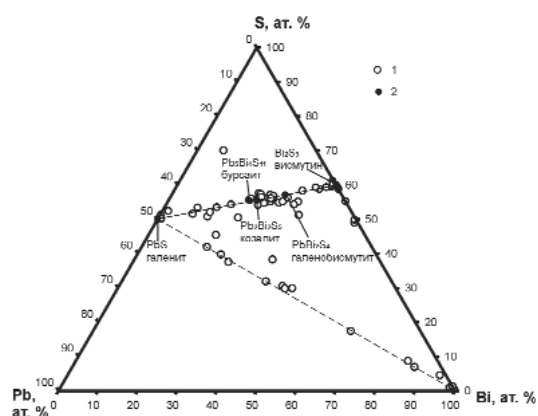
Химический состав Bi-минералов

Висмутовая минерализация представлена широким спектром Bi-содержащих минералов (табл. 1). Аналитические данные позволили идентифицировать висмутин (Bi_2S_3), бурсаит ($\text{Pb}_3\text{Bi}_4\text{S}_{11}$), вейбуллит ($\text{Pb}_3\text{Bi}_4\text{S}_8$), козалит ($\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$). В этой же ассоциации обнаружены фазы, отвечающие составу: $\text{Pb}_5\text{Bi}_2\text{S}_8$, $\text{Pb}_4\text{Bi}_2\text{S}_7$, а также фаза, содержащая серебро ($\text{Ag}_3\text{Pb}_8\text{Bi}_{11}\text{S}_{26}$), акантит (Ag_2S) и самородные серебро и висмут. Химический состав Bi-содержащих минералов изучен достаточно детально, всего проанализировано 94 фазы, в таблице 1 приведены анализы, которые корректно рассчитываются на формулы минералов и соответствуют сходным по составу сульфосолям свинца и висмута, описанным Н.Н. Мозговой

(1985).

Распределение висмутовой минерализации в рудах имеет некоторые особенности. Одна из них заключается в развитии минералов висмута, содержащих серебро до 5.6 мас.%, в верхних частях рудных тел. В нижних частях количество серебра в них снижается до 1.7 мас.%. Другая особенность – изменение минерального состава в зависимости от глубины вскрытия рудного тела. Наиболее распространенным минералом в глубоких частях является висмутин, выше – козалит. Это свидетельствует о том, что с глубиной количество висмута увеличивается. Третья особенность проявлена в закономерном развитии висмутовой минерализации лишь в определенных участках, в частности, в интервале глубин 180–220 м и только там, где в рудах присутствует пирит, арсенопирит и пирротин, причем последний подвергся частичной, иногда полной дисульфидизации. Единичные находки минералов висмута обнаружены и на глубине 100 м.

Самородный висмут, сульфиды и сульфосоли висмута обнаружены в штольне 47 и в скважинах 045, 047 и 061А. Эти минералы ассоциируют, главным образом, с кварцем (рис. 4). Нахождение их среди кальцита объясняется тем, что кварц в щелочных условиях был растворен и частично переотложен в виде метакристаллов, а ассоциирующие с ним минералы висмута сохранились в кальците (рис. 4а). В ряде случаев минера-



неоднородная фаза

Рис. 5. Диаграмма вариаций химического состава висмутовых минералов (ат. %).

1 — минералы месторождения Джимион, 2 — теоретические составы

лы висмута встречаются среди сульфидов: пирротина (рис. 4b), арсенопирита, сфалерита и халькопирита. Размеры отдельных зерен Vi-минералов и их сростков — единицы, иногда до 30 микрон. Формы выделений разнообразны: неправильные, пластинчатые, игольчатые, агрегативные (рис. 4).

Галенит, присутствующий в составе Vi-содержащей ассоциации, различается по химическому составу в зависимости от глубины ее проявления. В 9 образцах, взятых из месторождения Джимион, галенит содержит небольшие количества серебра (0.09–0.48 мас.%) и висмута — от 0.24 до 15.1 мас.%. На глубине 186–220 м (скв. 047, 061А) галенит богат висмутом (табл. 1, ан. 3).

Самородный висмут распространен значительно шире, чем другие Vi-минералы. Особенно часто он встречается в образцах из скважин подземного бурения 045, 047, 061А, в интервалах глубин 180–220 м. Самородный висмут обычно развивается по висмут-содержащим минералам, а также образует отдельные мелкие выделения среди кварца (рис. 4с). Химический состав 8 зерен самородного висмута показал незначительные содержания в нем примесей железа, меди и серы. В одном из анализов присутствовали серебро и свинец, соответственно 0.28 и 1.58 мас.%. Обнаруженные примеси, вероятно, связаны с окружающими сульфидами, поскольку зерна самородного висмута чрезвычайно малы. В таблице 1 приведены наиболее представительные анализы (ан. 17–19).

Висмутин встречается в виде призматических и игольчатых кристаллов, иногда

тонкокристаллических сростков среди кварца (рис. 4а). Химический состав висмутин относительно постоянен. Содержание висмута колеблется от 75.7 до 83.2 мас.%, серы — от 15.8 до 18.4 мас.%. Некоторое снижение содержания висмута обусловлено примесями свинца. Результаты анализов хорошо рассчитываются на формулу висмутин (табл. 1).

Козалит по формам выделений весьма сходен с висмутином (рис. 4с,d). Для него также характерны тонкоигольчатые кристаллы, иногда сростки и мелкозернистые агрегаты. Козалит оптически неоднороден, образует сростания с другими Vi-содержащими минералами. Наиболее постоянный по химическому составу козалит встречен в образцах из штольни 47. Содержание висмута в нем увеличивается с глубиной. Всего проанализировано 17 фаз козалита, в таблице 1 приведены выборочные анализы, рассчитанные на формулу минерала (ан. 8–10). Обобщенные данные показали колебания Vi от 41.5 до 50.8 мас.%, свинца — от 36.6 до 41.2 мас.%, серы — от 15.1 до 16.7 мас.%.

Галенобисмутит практически не отличается по оптическим свойствам от козалита. По химическому составу минералы также близки, в отдельных анализах галенобисмутита (табл. 1, ан. 14), по сравнению с козалитом, получены более высокие содержания висмута и меньшие количества свинца, соответственно 61.14 и 22.18 мас.%.

Вейбуллит, бурсаит, Pb-Vi-фазы и Ag-Pb-Vi-содержащие фазы встречаются обычно в тонких сростаниях друг с другом, эти минералы и минеральные фазы относительно редки в рудах, и из-за субмикроскопических размеров зерен описание их затруднительно. Они диагностированы лишь на основании химических анализов, отличающихся от анализов козалита и висмутин (табл. 1) и расчетных формул минералов.

Вариации в составе Pb-Vi-S-минералов отражены на диаграмме фазовых соотношений в системе (рис. 5), которая показывает закономерный, непрерывный ряд минеральных фаз в ряду $PbS-Vi_2S_3$ (Минералы, 1974). Диаграмма построена на базе экспериментально полученного козалита как стабильной фазы при температуре 400°C (Craig, 1967) и составов минералов из месторождения Джимион. На диаграмме залитые кружочки соответствуют теоретическим составам галенита, бурсаита, висмутин, галенобисмутита, не залитые отвечают Vi-содержащим минералам месторождения. Некоторые отклонения составов от системы

PbS-Bi₂S₃ (рис. 5), вероятно, связаны с образованием фаз в этом ряду при более низких температурах (Craig, 1967). При построении диаграммы обнаружен еще один ряд PbS-Bi, отвечающий проанализированным образцам. Этот ряд — галенит-самородный висмут соответствует изменчивым соотношениям свинца, висмута и серы в изученных фазах, что, по-видимому, связано с их неоднородностью вследствие мелкозернистых сростаний.

По данным микротермометрии флюидных включений (по кварцу и карбонату, из акантит-висмутин-козалит-галенитовой ассоциации) следует, что растворы имели как натриево-хлоридный, так и магниевый-хлоридный состав, и высокие концентрации до 17 мас.% экв. NaCl, здесь наблюдались наиболее высокие температуры минералообразования до 300–350°C.

Закключение

Минеральный состав рудных тел месторождения Джимидон сравнительно прост и сходен с составом руд других свинцово-цинковых месторождений Садонского рудного района. Отличительной особенностью руд месторождения Джимидон является относительно широкое развитие арсенопирита и присутствие разнообразной Pb-Bi-Ag-S минерализации, которая в месторождении обнаружена впервые.

Руды месторождения Джимидон характеризуются наличием фациальных различий в минеральном составе главных ассоциаций, локальным развитием Pb-Bi-Ag-S минерализации и присутствием от двух до трех-четырех генераций главных рудообразующих минералов.

Геохимические особенности руд, в частности, типоморфизм сфалерита и галенита показали повышенные концентрации индия в ранние, а кадмия, серебра, висмута — в поздние стадии минерализации.

Авторы благодарят К.В. Давыдова за предоставленный для исследования материал из буровых скважин.

Работа выполнена в рамках темы «Состав, строение и условия формирования руд крупных эндогенных месторождений благородных и цветных металлов» при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект

04-05-64407).

Литература

- Ажгирей Г.Д. Проблемы поисков скрытых свинцово-цинковых месторождений в Северной Осетии //Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. **1958**. № 4. С. 73-83.
- Гурбанов А.Г., Зембатов С.С. Субмеридиональные ослабленные зоны и их роль в локализации полиметаллического оруденения Северной Осетии //Изв. АН СССР. Сер. геол. **1978**. № 5. С. 106-119.
- Давыдов К.В., Грановский А.Г. Новые данные о связи полиметаллических руд Горной Осетии с юрским вулканоплутоническим комплексом //Докл. АН СССР. **1985**. т. 282. № 4. С. 941-945.
- Добровольская М.Г. Минералого-геохимические критерии прогноза оруденения Садонского рудного поля //Изв. АН СССР. Сер. геол. **1987**. Т. 8. С. 92-102.
- Добровольская М.Г. Свинцово-цинковое оруденение (рудные формации, минеральные парагенезисы, особенности рудоотложения). М.: Наука, **1989**. 216 с.
- Константинов М.М., Битаров В.Т., Варгунина Н.П., Горгеев С.Г., Давыдов К.В., Данильченко В.А., Кулаев И.Г., Лайпанов Х.Х., Орлов Б.Ю. Скрытые свинцово-цинковые месторождения Садонского рудного района: открытия и перспективы //Отечественная геология. **2003**. № 1. С. 31-36.
- Константинов М.М., Лайпанов Х.Х., Варгунина Н.П., Данильченко В.А., Орлов Б.Ю., Битаров В.Т., Давыдов К.В., Кулаев И.Г., Кучиев А.А. Свинцово-цинковое месторождение Бозанг, Северная Осетия //Руды и металлы. **2004**. № 6. С. 34-48.
- Минералы. Диаграммы фазовых равновесий, вып. 1, под ред. Ф.В. Чухрова. М.: Наука, **1974**. 514 с.
- Мозгова Н.Н. Нестехиометрия и гомологические ряды сульфосолей. М.: Наука, **1985**. 264 с.
- Некрасов Е.М. Структурные условия локализации жильных свинцово-цинковых месторождений. М.: Недра, **1980**. 255 с.
- Черницын В.Б. Металлогения свинца и цинка. Киев: Наукова думка, **1985**. 270 с.
- Хетагуров Г.В., Катова Л.М. Закономерности распределения и условия формирования руд полиметаллических месторождений Горной Осетии //Сов.геология. **1972**. № 9. С. 122-127.
- Craig J.R. Phase Relations and mineral assemblages in the Ag-Bi-Pb-S system //Mineralium deozita. **1967**. V. 1. № 4.